



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A
BIOMECHANIKY**

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

**CHYTRÁ ZÁSUVKA PRO DOBÍJENÍ
ELEKTROSPOTŘEBIČŮ VE VEŘEJNÝCH PROSTORECH**

SMART POWER SOCKET FOR CHARGING ELECTRICAL APPLIANCES IN PUBLIC AREAS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Chalupa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Tomáš Chalupa**
Studijní program: Aplikované vědy v inženýrství
Studijní obor: Mechatronika
Vedoucí práce: **Ing. Daniel Zuth, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Chytrá zásuvka pro dobíjení elektrospotřebičů ve veřejných prostorech

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem a konstrukcí chytré zásuvky, která bude sloužit pro dobíjení elektrospotřebičů (telefony, elektrokola a podobně) ve veřejných prostorech. Zásuvka bude aktivní pouze po přiložení čipu RFID až do okamžiku snížení odběru pod stanovenou mez (spotřebič je nabitý nebo došlo k odpojení od zásuvky). Dále bude měřit spotřebu odebrané energie a tyto informace bude ukládat do externí databáze nebo cloudového systému.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše v oblasti mikrokontrolerů, cloudových systémů a RFID.

Vybrat vhodné komponenty.

Návrh a realizace vlastního řešení.

Ověření funkčnosti navrženého řešení.

Seznam doporučené literatury:

SELECKÝ, Matuš. Arduino: uživatelská příručka. Přeložil Martin HERODEK. Brno: Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.

HUDEČ, Přemysl. Dálkové monitorování pohybu osob v budovách a areálech pomocí RFID systémů: Remote monitoring of people in buildings and open areas using RFID systems. V Praze: České vysoké učení technické, c2010. ISBN 978-80-01-04541-1.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se v první řadě zabývá návrhem a konstrukcí prototypu chytré zásuvky, která bude sloužit k dobíjení elektrospotřebičů ve veřejných prostorech. Poskytuje ověřování uživatele na základě přiloženého RFID prvku a monitorování průběhu nabíjení. K tomu využívá komunikaci s externí cloudovou databází. Samotná realizace prototypu byla v práci rozdělena do tří hlavních částí, řídicí, elektrotechnické a mechanické. V úvodu je také doplněna rešeršní částí, věnující se problematice mikrokontrolérů, cloudových systémů a RFID technologií.

ABSTRACT

This bachelor thesis is primarily focused on design and construction of a prototype smart power socket that will be used to charge electrical appliances in public areas. It provides user authentication based on an attached RFID element and monitoring of the charging progress. For this, it uses communication with an external cloud database. The actual construction of the prototype has been divided into three main parts in this thesis, control, electrical and mechanical. The introduction is also complemented by a research section dealing with microcontrollers, cloud systems and RFID technology.

KLÍČOVÁ SLOVA

Chytrá zásuvka, ESP32, nabíjení elektrospotřebičů, měření proudu, RFID, databáze, MySQL

KEYWORDS

Smart power socket, ESP32, charging electrical appliances, current measurement, RFID, database, MySQL

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHALUPA, Tomáš. Chytrá zásuvka pro dobíjení elektrospotřebičů ve veřejných prostorech. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132680>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Daniel Zuth.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Daniela Zutha, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 1. 5. 2021

.....

Tomáš Chalupa

PODĚKOVÁNÍ

Na prvním místě děkuji Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D., za velkou vstřícnost, ochotu a věcné připomínky při vedení této práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu během celého studia.

Obsah

ÚVOD.....	15
1 MIKROKONTROLÉRY	17
1.1 Microchip.....	18
1.1.1 Curiosity.....	18
1.2 Arduino	19
1.3 Espressif.....	20
1.3.1 ESP32.....	20
2 CLOUDOVÉ SYSTÉMY	23
2.1 Modely cloudového systému	23
2.1.1 Model SaaS	24
2.1.2 Model PaaS	24
2.1.3 Model IaaS	24
2.2 MySQL	25
2.3 Databáze chytré zásuvky	26
3 TECHNOLOGIE RFID	27
3.1 Princip činnosti RFID	27
3.1.1 Pasivní TAG	27
3.1.2 Aktivní TAG	28
3.2 Čtečka MFRC522	29
3.3 Využití RFID	30
4 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ.....	31
4.1 Koncept chytré zásuvky	31
4.2 Měření proudu.....	32
4.2.1 ACS712.....	32
4.2.2 SCT-013.....	33
4.2.3 PZEM-004T	34
4.3 Napájecí zdroj	35
4.4 Elektromechanické součástky	36
4.4.1 Spínací relé	36
4.4.2 Elektrická zásuvka	37
4.5 Indikační prvky	38
4.5.1 Světelný indikátor	38
4.5.2 Akustický indikátor.....	38
5 REALIZACE PROTOTYPU.....	41
5.1 Řídicí část	41
5.1.1 Funkce setup().....	41
5.1.2 Funkce loop().....	43
5.2 Elektrotechnická část	48

5.2.1	Slaboproudá část	48
5.2.2	Silnoproudá část	50
5.3	Mechanická část	52
5.3.1	Technologie výroby.....	52
5.3.2	Návrh modelu	53
6	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI.....	57
6.1	Testování zařízení	57
6.1.1	Spouštění	57
6.1.2	Kontrola uživatele	58
6.1.3	Nabíjení	58
6.1.4	Zapojení v provozu.....	59
6.2	Záznam nabíjení	60
6.2.1	Mobilní telefon	60
6.2.2	Elektrokolo	61
6.3	Rozšíření chytré zásuvky	62
6.3.1	Úprava prototypu.....	62
6.3.2	Uživatelské rozhraní.....	63
	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	70
	SEZNAM TABULEK	71
	SEZNAM PŘÍLOH	72

ÚVOD

V dnešní době využívá řada lidí různá elektronická zařízení obsahující vlastní zdroj napájení ve formě akumulátoru. Nejčastěji se jedná o mobilní telefony, tablety nebo notebooky, ale do popředí se dostávají i elektrokola nebo elektrokoloběžky. Z podstaty těchto zařízení vyplývá, že pro svůj provoz vyžadují občasné dobíjení. To může být problém v případě, že uživatel nemá momentálně k dispozici vlastní elektrickou zásuvku. Řešením může být nabíjení pomocí chytrých zásuvek umístěných ve veřejných prostorech.

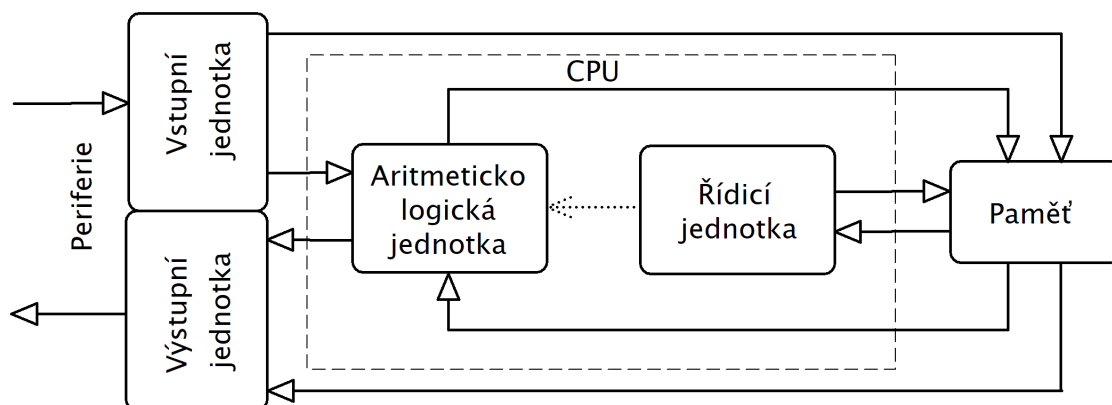
Cílem práce je tak návrh a následná realizace prototypu chytré zásuvky, pomocí níž si mohou oprávnění uživatelé dobít svá elektronická zařízení. K tomu potřebují identifikační prvek, na jehož základě se ověří jejich totožnost. Informace o používání této zásuvky poté budou odesílány přes internet do externí databáze, kde se provede jejich vyhodnocení.

Tato práce je formálně rozdělena do dvou hlavních částí – rešeršní a konstrukční. První, rešeršní část se skládá ze tří samostatných kapitol. Ty se obecně věnují tématům z oblasti mikrokontrolérů, cloudových systémů a RFID technologií. Každá z těchto kapitol je doplněna o část přímo související s pozdějším návrhem chytré zásuvky. V případě mikrokontrolérů se jedná o použitou vývojovou desku ESP32, u cloudových systémů je to tvorba databáze chytré zásuvky a u RFID jde o popis konkrétního typu použité čtečky.

Druhá, konstrukční část práce se skládá ze tří kapitol, detailněji se věnujících chytré zásuvce. V první části je naznačen návrh a způsob řešení daného problému. S tím souvisí také výběr vhodných komponent a jejich předběžné vyzkoušení. Druhá kapitola se již věnuje realizaci prototypu, a to z hlediska mechatronického výrobku. Tato kapitola se dále člení na tři podkapitoly: řídicí, elektrotechnickou a mechanickou. Závěrečná kapitola se zaměřuje na otestování základních funkcí navrženého prototypu, který je zde i předběžně vyzkoušen v provozu. Následně je popsáno několik možných budoucích rozšíření chytré zásuvky.

1 MIKROKONTROLÉRY

Mikrokontrolér neboli jednočipový počítač (μC) je programovatelné a zpravidla monolitické elektronické zařízení, které integruje všechny podstatné části mikropočítače do jednoho pouzdra. Těmito hlavními částmi jsou řídicí jednotka, řadič, aritmeticko-logická jednotka, paměť a periferní obvody (vstupně/výstupní jednotka) [1]. Kromě těchto nezbytných obvodů bývají součástí mikrokontroléru také další elektronické obvody, jako jsou A/D převodníky, časovače, generátory hodinových pulzů, ochranné obvody nebo obvody sloužící k nahrání programu do paměti. Na následujícím obrázku 1 je znázorněno zjednodušené blokové schéma mikropočítače, který obsahuje všechny podstatné součásti.



Obrázek 1: Vnitřní struktura mikrokontroléru (upraveno [2])

Centrální řídicí jednotka – CPU (Central Processing Unit), nejdůležitější část systému, která zpracovává veškeré informace; skládá se ze samotné řídicí jednotky a aritmeticko-logické jednotky

Řídicí jednotka – obsahuje mnoho logických a časovacích obvodů, vykonává instrukce podle programu uloženého v paměti, instrukce nejdříve přijme, poté dekóduje a až poté zpracuje

Aritmeticko-logická jednotka – umožňuje provádět základní aritmetické a logické operace s binárními čísly (sčítání, odčítání, násobení, dělení, AND, OR, bitový posuv...); tyto operace provádí na základě pokynu řídicí jednotky, a to buď s daty z paměti, nebo periferie

Paměť – obsahuje uložené informace ve formě binárních čísel a umožňuje jejich čtení nebo zápis; zdrojem zapisovaných dat může být řídicí jednotka, periferie nebo aritmeticko-logická jednotka, která si zde dočasně ukládá své výpočty

Vstupní jednotka – zajišťuje příjem dat z okolí (například z různých senzorů nebo na základě uživatelských povelů)

Výstupní jednotka – vykonává různé výstupní operace dle konkrétní aplikace (ovládání, zobrazení uživatelského rozhraní atd.)

Na současném trhu se nachází nepřeberné množství různých typů mikrokontrolérů, jež by se daly rozdělit dle několika kritérií, například podle architektury (von Neumannova, Harvardská), šířky (délky) slova (8, 16, 32 bitů), výrobce (Microchip/ATMEL, Intel), rodiny (ATMEGA, PIC32) nebo podle použití (automobilový průmysl, elektrospotřebiče, internet věcí). Tyto a další faktory hrají velkou roli při konstrukci konkrétního zařízení a musí na ně tedy být kladen důraz již v počátku návrhu.

Obecně přináší používání mikrokontrolérů oproti jiným možnostem (PLD, PLC, průmyslové PC) řadu výhod. V první řadě jsou kompaktní, výkonné a představují nízkonákladové, ale přitom spolehlivé řešení pro většinu „jednoduchých“ aplikací. Dalším aspektem je uživatelská podpora, kdy výrobce může nabízet přímo svůj vlastní software (tzv. IDE – Integrated Development Environment), přes který lze programovat a jenž může obsahovat mnoho užitečných předdefinovaných funkcí. Výrobce často nenabízí jenom samotný integrovaný obvod mikropočítače v jednom pouzdře, ale dodává ho spolu s ostatními obvody a různými součástkami na jediné desce. Taková zařízení se následně označují pojmem „vývojová deska“ (development board). S jejich pomocí lze celkem jednoduše, rychle a efektivně vytvořit prototyp výsledného zařízení. V následujících podkapitolách jsou uvedeny příklady některých populárních vývojových desek, včetně té, která byla použita v této práci.

1.1 Microchip

Americký podnik Microchip patří mezi výrobce široké škály integrovaných obvodů, jako jsou mikroprocesory, mikrokontroléry nebo paměti. Je nadřazenou firmou společnosti Atmel, která se specializuje na vývoj mikrokontrolérů pracujících především v architektuře ARM a AVR. Microchip však nabízí i několik vlastních vývojových desek, ke kterým poskytuje i svoje programovací prostředí, využívající jazyk C, a to software MPLAB.

1.1.1 Curiosity

Curiosity je označení řady vývojových desek obsahující mikrokontroléry Microchip. Tuto řadu lze podle typu použitého mikrokontroléru rozdělit na tři skupiny – 8, 16 a 32bitové. Z nabídky 8bitových lze vyzdvihnout model Curiosity HPC, využívající mikrokontrolér PIC18F47Q10 a nabízející na své desce zabudovaný potenciometr, několik tlačítek, vstupně/výstupní piny, 2x microBUS zásuvku a microUSB konektor. Ze 16bitových lze zmínit model PIC24F Curiosity, který nabídne podobné periferie jako předchozí s výjimkou vestavěného Bluetooth čipu. Z poslední kategorie 32bitových mikrokontrolérů je nabízen nejvybavenější model PIC32MZ EF Bundle, ke kterému mohou být připojeny Ethernetové nebo Wi-Fi moduly [3]. Pro účely této práce by však zmíněné desky nebyly vůbec vhodné svými velkými rozměry a hlavně vysokou cenou. Jediným vhodným kandidátem z řady Curiosity jsou modely Nano (obrázek 2), které jsou

Arduino	Popis	Mikrokontrolér	Typ
UNO	Nejznámější a nepoužívanější	ATMEGA328	8bit/AVR/16MHz
Leonardo	Vychází z UNO, používá jiný čip	ATMEGA32U4	8bit/AVR/16MHz
MEGA	Výkonné, nejvíce I/O pinů	ATMEGA2560	8bit/AVR/16MHz
DUE	Navazuje na MEGA, větší výkon	Atmel SAM3X8E	32bit/ARM/84MHz
Nano	Miniaturní verze Arduino UNO	ATmega328	8bit/AVR/16MHz
UNO WiFi Rev2	Vhodné pro IoT, Bluetooth, WiFi	ATmega4809	8bit/AVR/16MHz

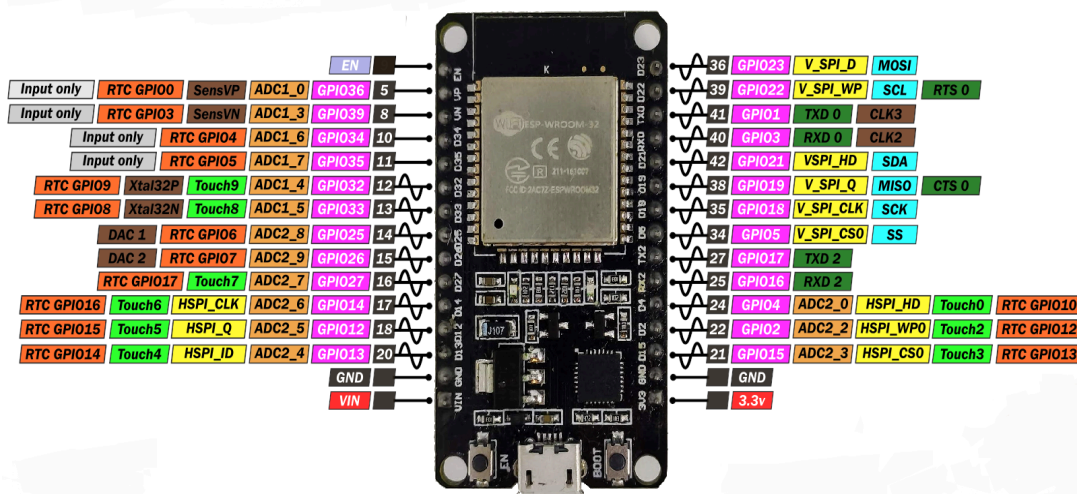
Díky otevřenosti projektu Arduino vzniká i mnoho tzv. klonů, které jsou založeny na původních vývojových deskách, ale často nabízejí i něco navíc. Arduino je dále známé díky dostupnosti různých modulů, nástaveb (shieldů) a kitů, které jsou s ním přímo kompatibilní. To umožňuje rozšířit původní desku o další funkčnosti nebo připojit některý ze širokého spektra senzorů. K těmto rozšířením jsou většinou dostupné i knihovny, zjednodušující práci při programování, a také je zde možnost jejich podpory v Arduino komunitách [7].

1.3 Espressif

Posledním zde zmíněným výrobcem dostupných vývojových desek je firma Espressif Systems, která má hlavní sídlo v Šanghaji. Mimo to má i vlastní pobočku v České republice, a to konkrétně v Brně, kde se podílejí na vývoji firmwaru [8]. Její výrobky se stále více dostávají do popředí, jelikož nabízejí velmi zajímavý poměr mezi cenou a výkonem. Většina nabízených vývojových desek se vyznačuje konektivitou a jsou přímo určeny pro zařízení IoT. Většinu mikrokontrolérů od společnosti Espressif lze mimo jiné programovat i přes rozhraní Arduino IDE, kde je nabízena knihovna pro komunikaci přímo od výrobce.

1.3.1 ESP32

Modul ESP32 je nástupcem staršího modelu ESP8266 a v době uvedení na trh zaznamenal velký nárůst popularity. Tato vývojová deska je v současnosti populární nejen mezi hobby uživateli (bastlíři), ale i v profesionálním použití [9]. Obrázek 3 ukazuje tuto desku včetně popisu jednotlivých pinů. Následně je v tabulce 2 uveden výčet základních vlastností, které ESP32 nabízí, a to konkrétně pro typ DevKit V1, jenž byl právě použit v této práci.



Obrázek 3: Vývojová deska ESP32 s popisem vývodů [10]

Tabulka 2: Charakteristické vlastnosti ESP32

Mikrokontrolér	Tensilica Xtensa LX6
	2 jádra, 240 MHz, 32bitový
Vnitřní Flash paměť	4 MB
Statická SRAM paměť	520 kB
Napájecí napětí	5 - 12 V
Pracovní napětí	3,3 V
Celkový počet pinů	30
Digitální vstupy/výstupy	25
Analogové vstupy/výstupy	15 (4x pouze vstup)
Kapacitní dotykové piny	10
Sériová rozhraní	4 x SPI
	2 x I ² C
	2 x UART
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR/BLE
Další vlastnosti	Integrovaný Hallův senzor
	Integrovaný teploměr CPU
	Až 16 kanálů PWM
	Režimy snížení spotřeby

Z vlastností ESP32 lze usoudit, že tato malá vývojová deska nabízí mnoho užitečných funkcí a je tedy vhodná pro široký rozsah použití. Důvodů pro použití právě této platformy namísto jiných, některých i zde zmíněných, je tedy mnoho. V první řadě je to kompaktnost, co se rozměrů týče, ale se zachováním požadovaného výpočetního výkonu. Dále se jedná o jednoduchou možnost internetové konektivity v rámci zabudovaného Wi-Fi čipu s malou anténou. Odpadá tedy použití externího Wi-Fi modulu, který je navíc ve většině případů od jiného výrobce, a zároveň se musí poměrně složitě nastavovat. V neposlední řadě to je možnost programování přes software Arduino IDE, s čímž souvisí i kompatibilita s některými dostupnými knihovnami.

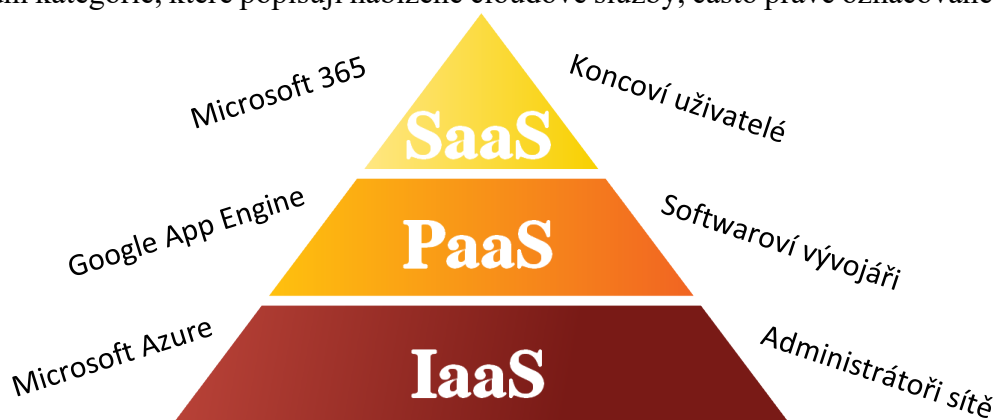
2 CLOUDOVÉ SYSTÉMY

Cloudové systémy, v angličtině známé především pod pojmem „cloud computing“ – zkráceně „cloud“, jsou nástroje umožňující vzdálené sdílení dat v oblasti informačních technologií. Tato data jsou bezpečně uložena na vzdáleném datovém serveru, který spravuje poskytovatel této cloudové služby. Ten pak tyto služby nabízí již koncovým uživatelům, a to buď bezplatně, nebo dle předem stanovených sazeb. Každý uživatel se následně může k těmto cloudovým službám připojit kdykoliv a odkudkoliv na světě skrze globální síť – internet [11].

Služeb, které může cloud v současné době poskytovat, je mnoho. Jejich společným rysem je ale myšlenka, že cloudový systém umožňuje propůjčit své hardwarové i softwarové vybavení svým uživatelům. Po stránce hardwarové se nejčastěji jedná o poskytnutí diskového prostoru pro libovolná data (dokumenty, obrázky, hudbu atd.). Tyto soubory pak uživatel jednoduše odešle přes internet na vzdálený server a poté je již nemusí mít uložené na svém disku v počítači. Tento typ služby se pak označuje jako cloudové úložiště. V další, softwarové oblasti, je uživateli nabízena správa určitého počítačového programu, a to opět vzdáleně, bez nutnosti mít tento program nainstalován na svém osobním počítači. Velmi často se ale setkáváme s kombinací tohoto vzdáleného hardwarového i softwarového rozhraní, nabízející výhody obou těchto služeb dohromady. Tyto výše uvedené služby, které cloudový systém poskytuje, se někdy souhrnně označují jako tzv. distribuční model [12]. Základní tři modely cloudových systémů jsou detailněji rozebrány v následující podkapitole. Dále cloudové systémy dělíme podle toho, jakým způsobem jsou poskytovány, a nejčastěji se setkáváme s pojmy privátní, veřejný a hybridní cloud.

2.1 Modely cloudového systému

Jak již bylo nastíněno, model cloudového systému zahrnuje služby, které cloudový systém poskytuje, a to primárně po hardwarové a softwarové stránce. Dělí se na tři základní kategorie, které popisují nabízené cloudové služby, často právě označované jako



Obrázek 4: Hierarchie modelů cloudového systému s příklady (upraveno [13])

modely. Na obrázku 4 se nachází uspořádání jednotlivých modelů cloudového systému podle toho, jak spolu souvisí nebo jak ze sebe vzájemně vycházejí. U každého typu modelu je vlevo uveden konkrétní příklad cloudové služby a vpravo pro jakého uživatele je daný model vhodný.

2.1.1 Model SaaS

„Software jako služba“, z anglické zkratky Software as a Service, je jedním z typů modelu cloudového systému, který nabízí vzdálený přístup k daným počítačovým programům, označovaným jako cloudové aplikace [14]. Důležité je zmínit, že koncový uživatel získá pouze přístup ke specifické aplikaci, nikoliv však aplikaci samotnou jako celek [11].

Jednoduchým příkladem tohoto modelu může být třeba klient elektronické pošty. Mezi další může patřit kalendář, kancelářský software – textový, grafický nebo tabulkový editor (Word, Excel – Office 365) a v neposlední řadě i třeba vědecké nástroje jako MATLAB nebo Simulink. Většinou jeden poskytovatel nabízí širokou paletu svých nástrojů, k nimž může uživatel přistupovat pod jedním účtem a které spolu často určitým způsobem vzájemně spolupracují.

2.1.2 Model PaaS

Platforma jako služba, z anglické zkratky Platform as a Service, je dalším typem modelu cloudového systému, který nabízí uživatelům prostředí pro vývoj a testování vlastních aplikací [15]. Poskytovatel hostuje své hardwarové i softwarové vybavení a zákazník se k němu může připojit jednoduše skrze svůj webový prohlížeč. Tento typ modelu je především určen pro odborné uživatele z odvětví informačních technologií, jako jsou programátoři, developéři, správci databází nebo SW testéři.

Příkladem tohoto modelu může být služba od společnosti Google s názvem App Engine. Ta nabízí výpočetní cloudovou platformu pro vývoj a testování uživatelem vytvořených aplikací. Ty mohou být napsány v programovacích jazycích, které tato služba podporuje (Java, PHP, Python) a následně nahrány a spuštěny na vzdálených datových serverech.

2.1.3 Model IaaS

Infrastruktura (integrace) jako služba, z anglické zkratky Infrastructure as a Service, též označované HaaS (Hardware as a Service), nabízí uživatelům kompletní hardwarové řešení pro jejich potřeby. U dříve zmíněných modelů SaaS a PaaS se jedná o jejich základní stavební kámen, i když k němu neměli uživatelé v těchto modelech přímo přístup. Zákazník si pronajímá celou hardwarovou infrastrukturu, která zahrnuje operační paměť, server, diskové úložiště nebo třeba procesorový čas [16]. Vše si může přesně a na míru nakonfigurovat, z čehož se pak odvíjí celková cena této nabízené služby. Důležité

je zmínit, že uživatel si všechny ostatní softwarové nastavy, jakými jsou operační systém nebo počítačové programy, zajišťuje, konfiguruje a spravuje sám.

Příkladem cloudového poskytovatele modelu IaaS je nástroj Microsoft Azure. Ten také poskytuje služby pracující i na předchozích zmíněných modelech cloudových systémů. Tento nástroj nabízí správu více virtuálních počítačů (Azure Virtual Machines), pracujících na serverech různě rozmístěných po celém světě. Pro opravdu náročné výpočetní úlohy (např. vědecký výzkum) poskytuje nástroj Azure i vysokovýkonné výpočetní prostředí HPC (High Performance Computing) [17].

2.2 MySQL

MySQL je nejznámější databázový systém, původně vyvinutý švédskou firmou v roce 1995. V současné době se jedná o open-source projekt spravovaný firmou Oracle. Jedná se o tzv. relační databázi, která ukládá vzájemně propojené datové body a poskytuje k nim přístup. Zakládá si na intuitivním a přímočarém vytváření dat v tabulkách, které se skládají ze sloupců a řádků [18]. Práce s těmito daty se provádí buď ručně, nebo častěji pomocí příkazů, respektive dotazů. Ty se píšou ve strukturovaném dotazovacím jazyce SQL (Structured Query Language). Komunikace s databází nicméně může probíhat i přes běžné programovací jazyky (PHP, Java, Python a další) [19]. V tabulce 3 se nachází soupis několika základních SQL příkazů, které také byly použity v této práci.

Tabulka 3: Základní příkazy SQL

Příkaz	Popis funkčnosti
CREATE DATABASE	Vytvoření nové databáze
CREATE TABLE	Vytvoření nové tabulky
SELECT	Výběr konkrétní databáze, tabulky, řádku, sloupce
WHERE	Filtrování výběru pomocí podmínky
ORDER BY	Seřazení dat dle parametru
INSERT INTO	Vložení nových dat do tabulky
UPDATE	Aktualizace dat v tabulce
SET	Nastavení konkrétních dat v tabulce
DELETE	Odstranění dat v tabulce
AND, OR, NOT	Logické operátory
IF, ELSE	Podmíněné příkazy

Vytvořenou databázi je možné spravovat přes aplikaci nainstalovanou v počítači nebo přes webové rozhraní phpMyAdmin. To je jednoduché a efektivní řešení, které uspokojí i potřeby pokročilejších uživatelů. Dále je možné databázi spravovat lokálně, tzn. na svém počítači nebo serveru, nebo použít externí (hostovanou) databázi od

některého poskytovatele. V této práci byla zvolena druhá možnost – hostující databáze, a to konkrétně zdarma přes poskytovatele freedb.tech. Díky tomu se nabízí možnost přistupovat k databázi kdykoliv a odkudkoliv na světě. Při výběru hostující databáze bylo vyzkoušeno i několik dalších poskytovatelů, avšak překážkou u nich byla určitá omezení, pomalá odezva nebo nemožnost vzdáleného přístupu (remote access).

2.3 Databáze chytré zásuvky

Pro potřeby práce byla vytvořena databáze sestávající ze čtyř tabulek (viz obrázek 5). Využitím jednotlivých tabulek se detailněji zabývají následující kapitoly této práce (konkrétně kapitola 5.1.2), ale jejich stručný význam je již předběžně uveden níže.

Tabulka	Operace	Řádků	Typ	Porovnávání	Velikost
<input type="checkbox"/> Chybovy_protokol	Projít Struktura Vyhledávání Vložit Vyprázdnit Odstranit	16	InnoDB	utf8_unicode_ci	16 KiB
<input type="checkbox"/> Historie_pristupu	Projít Struktura Vyhledávání Vložit Vyprázdnit Odstranit	617	InnoDB	utf8_unicode_ci	64 KiB
<input type="checkbox"/> Seznam_uzivatelu	Projít Struktura Vyhledávání Vložit Vyprázdnit Odstranit	3	InnoDB	utf8_unicode_ci	16 KiB
<input type="checkbox"/> Zaznam_nabijeni	Projít Struktura Vyhledávání Vložit Vyprázdnit Odstranit	609	InnoDB	utf8_unicode_ci	80 KiB

Obrázek 5: Ukázka tabulek z databáze chytré zásuvky

Historie přístupů – zde je uveden záznam všech přiložených karet a jejich kódu, včetně jména (pokud je uživatel v databázi), uživatelského čísla a času přístupu

Seznam uživatelů – obsahuje jména, uživatelská čísla, identifikační kódy a také hodnoty spotřebované energie a zbývajících kreditů

Záznam nabíjení – v průběhu procesu nabíjení se zde ukládají naměřené hodnoty (tzv. data logging) pro pozdější účely

Chybový protokol – pokud dojde při používání zařízení k některé chybě, zaznamená se právě do této tabulky, kde si ji může správce prohlédnout

Celou databázi může řídit jeden nebo více správců, kteří mají oprávnění upravovat jednotlivá data (např. přidávat nové uživatele, nabíjet kredit atd.).

3 TECHNOLOGIE RFID

Rádiová frekvenční identifikace, zkráceně RFID (Radio Frequency Identification), představuje bezdrátovou komunikaci mezi čtečkou a identifikačním prvkem [20]. Identifikační prvek, známější pod anglickým pojmenováním TAG (značka, visačka, štítek), je přenositelný prvek, který obsahuje informace, a to většinou ve formě specifického kódu. Čtečka (reader) je zařízení, které umožňuje načíst informace z TAGu nebo také následně provést jejich úpravu. Následující podkapitoly detailněji pojednávají o principu funkčnosti RFID, jeho využití v běžné praxi a konkrétním příkladu čtečky.

3.1 Princip činnosti RFID

Technologie RFID využívá elektromagnetických vln ve formě rádiových signálů. Rádiové frekvence, na kterých mezi sebou komunikují čtečka a prvek, se rozdělují na tři základní standardy. Prvním jsou frekvence 125 kHz nebo 134 kHz označené LF (low frequency), přičemž v české telekomunikaci se jedná o pásmo dlouhých vln. Druhým je frekvence 13,56 MHz s označením HF (high frequency), pracující v pásmu krátkých vln. Třetí využívají frekvenci 868 MHz a jsou značené UHF (ultra high frequency) neboli velmi krátké vlny [20]. Tyto zmíněné standardy jsou v současnosti nejpoužívanější, ale existují i jiné, využívající větších frekvencí (např. 2,4 GHz).

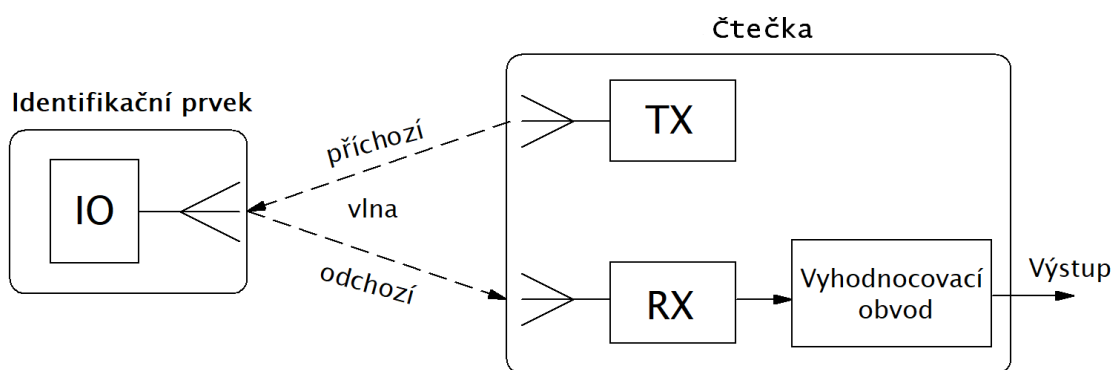
Většina čteček se skládá z obvodu přijímače RX (receiver) a vysílače TX (transmitter); toto závisí na typu použitého identifikačního prvku. Rozlišujeme dva druhy prvků: aktivní, který v sobě má již zabudovaný zdroj napájení (baterii), a pasivní, neobsahující vlastní zdroj napájení [21]. V následujících podkapitolách jsou tyto typy detailněji popsány. Dále můžeme obecně TAGy rozdělit podle režimu, v němž pracují. Jedná se zejména o prvky, které umožňují pouze získání (čtení) informací z paměti (tzv. RO – read-only), a ty, které umožňují uložené informace změnit (tzv. R/W – read-write). Speciálním případem jsou pak takové prvky, u nichž může být paměť upravena pouze jednou. Následně se tato možnost uzamkne a je povoleno pouze jejich čtení (tzv. WORM – Write Once, Read More) [22].

3.1.1 Pasivní TAG

Pasivní identifikační prvek se skládá z integrovaného obvodu, zajišťujícího komunikaci se čtečkou a obsahujícího malou paměť. Jelikož nemá žádný zdroj napájení, je použitelný pouze na krátké vzdálenosti, ale oproti tomu je cenově výhodnější a celkově skladnější. Na obrázku 6 se nachází blokové schéma této nejrozšířenější RFID technologie. Vysílací obvod čtečky (TX) vytváří elektromagnetické vlny, které se vyzařují do okolí. S rostoucí vzdáleností samozřejmě klesá jejich vyzařovací výkon, a tak se například pro zařízení typu HF uvádí maximální detekční vzdálenost kolem jednoho metru [23]. Pokud se tedy

v oblasti tohoto záření nachází identifikační prvek, využije se energie z příchozích elektromagnetických vln k napájení obvodu tohoto prvku, přes jeho vestavěnou anténu. Tím se aktivuje zabudovaný integrovaný obvod a dojde k amplitudové modulaci informace uložené v paměti ve formě modulačního signálu na „příchozí“ vlnu. Tato vlna se v radiokomunikaci označuje jako nosná a v tomto konkrétním případě je tedy použita jak k napájení obvodu TAGu, tak k modulaci informace a následně pokračuje odrazem v dalším šíření.

Takto upravená elektromagnetická vlna je poté detekována přijímacím obvodem transpondéru RX ve formě „odchozí“ vlny. V tomto obvodu dochází k demodulaci, což je proces oddělení modulačního signálu od nosné vlny. Jinými slovy, z celkového modulovaného signálu je odstraněna nosná složka a zůstává pouze modulační signál. Ten se následně dekóduje a zpracuje ve vyhodnocovacím obvodu, na jehož výstupu se získá původní informace uložená v identifikačním prvku. Výstup transpondéru může být přímo připojen k mikrokontroléru nebo přes převodník na sériovou linku (RS232), ale spíše přes modernější rozhraní USB.



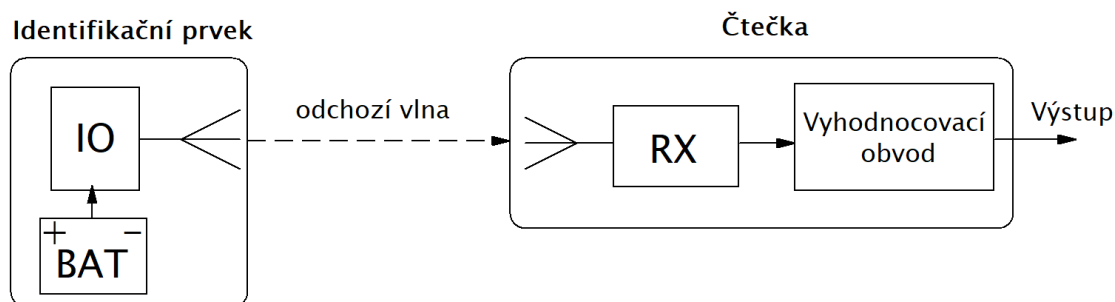
Obrázek 6: Blokové schéma pasivního RFID systému (upraveno [21])

3.1.2 Aktivní TAG

Aktivní identifikační prvek obsahuje stejně jako pasivní anténu a integrovaný obvod, který má ale větší vnitřní paměť. Největším rozdílem je však použití interního zdroje napájení. Tímto zdrojem je malá baterie, která vydrží kolem 3–5 let [24]. Po uplynutí této doby ji však nelze bez poškození vyměnit, jelikož je v čipu od výrobce zapouzdřená (zalitá) a je tedy nutné vyměnit kompletně celý TAG. Aktivní prvky jsou obecně robustnější a také jejich cena je oproti pasivním vyšší. Oproti tomu nabízejí vyšší detekční vzdálenost, pro UHF se uvádí i 50 metrů, ale tato hodnota může být výrazně ovlivněna okolním prostředím a ostatními zdroji rušení [23].

Aktivní RFID prvky bývají většinou dvou typů, tzv. beacon (maják) nebo transponder (transpondér) [25]. Liší se hlavně způsobem vysílání signálu. První uvedený typ vysílá signál pouze v nastavený čas (zhruba 3–5 sekund), čímž snižuje spotřebu baterie a prodlužuje její životnost. Oproti tomu druhý typ vysílá signál nepřetržitě po celou dobu životnosti baterie. Na obrázku 7 se nachází možné blokové schéma aktivního

RFID TAGu, pracujícího v režimu čtení. Identifikační prvek podle použitého typu vysílá přerušovaně nebo neustále rádiový signál ve formě elektromagnetického vlnění. Jedná se o již modulovaný signál a nyní se pouze stačí přiblížit s příslušným TAGem k transpondéru, jehož přijímací obvod tuto odchozí vlnu zachytí. Ve vyhodnocovacím obvodu se opět zpracuje příchozí signál a pokračuje na výstup obdobně, jako tomu bylo u pasivního prvku. Rozdíl bývá v tom, že aktivní RFID prvky většinou využívají určitý způsob šifrování. Jedná se o bezpečnostní ochranu, jelikož zde dochází k přenosu informace na větší vzdálenost a tato komunikace by tedy mohla být oproti pasivní RFID technologii jednodušeji zachycena a zneužita.

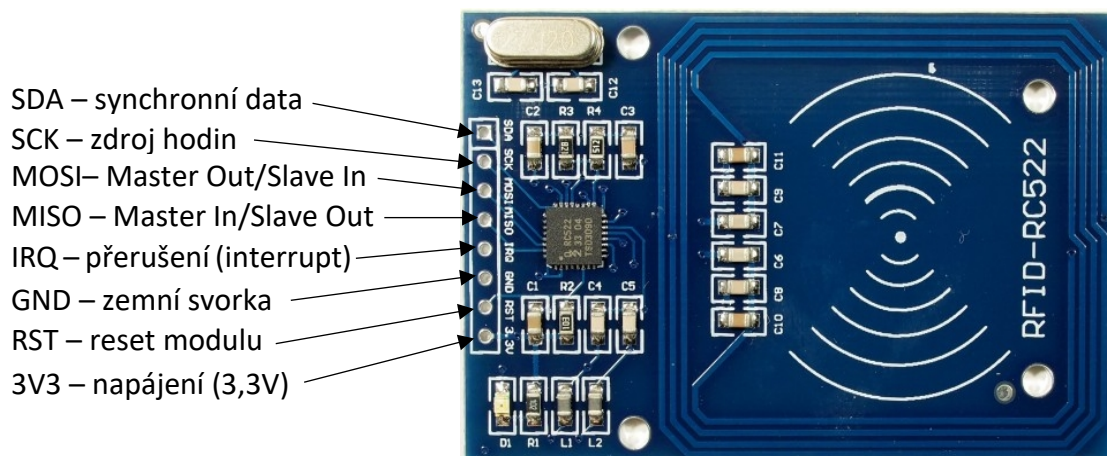


Obrázek 7: Blokové schéma aktivního RFID systému

3.2 Čtečka MFRC522

Konkrétním příkladem RFID čtečky může být modul MFRC522, který byl právě použit při konstrukci chytré zásuvky. Ten umožňuje čtení i zápis pasivních identifikačních prvků tzv. skupiny MIFARE, konkrétně MIFARE Mini, MIFARE 1K, MIFARE 4K, MIFARE Ultralight, MIFARE DESFire EV1 nebo MIFARE Plus RF a jejich příbuzných typů [26]. Všechny ale mají společnou frekvenci, na níž probíhá komunikace, a to o velikosti 13,56 MHz. Maximální dosah neboli vzdálenost mezi čtečkou a TAGem se udává kolem 6 cm, v praxi je ale hodnota nižší (zhruba 3–4 cm).

Komunikace mezi čtečkou a mikrokontrolérem může probíhat přes sériovou sběrnici SPI (Serial Peripheral Interface), I²C (Inter-Integrated Circuit) nebo také přes UART (Universal Receiver-Transmitter). Kvůli dostupnosti populární Arduino knihovny, která pracuje přímo s tímto modulem pouze přes SPI sběrnici, byl zvolen právě tento typ komunikace. Oproti ostatním typům komunikace má SPI dle výrobce nejvyšší modulační rychlost (baudrate až 10 Mbit/s) [26]. Nevýhodou je velký počet pinů (a tedy i vodičů), které se podílejí na přenosu dat, například u I²C stačí pouze 2 datové a 2 napájecí piny. Pomocí zmíněné knihovny si lze načíst kompletní binární data z TAGu, jako je typ čipu, velikost a UID kód. Ten je pro účely této práce nejdůležitější a musí se od zbytku dat „vyfiltrovat“. Po této operaci získáme unikátní hexadecimální UID kód karty, který má 8 znaků (například 4A 5A 75 29). Na obrázku 8 je přímo zobrazen tento modul, a jsou zde znázorněny jeho vývody včetně jejich stručného popisu funkčnosti.



Obrázek 8: Čtecí modul MRFC522

3.3 Využití RFID

Přestože si to někteří lidé nemusejí uvědomit, je využití RFID technologie v běžném životě celkem rozšířené. Její použití je efektivní všude tam, kde je potřeba ověřit nebo prokázat totožnost osob, ale například i v moderní výrobě pro identifikaci výrobků ve skladu a usnadnění jejich logistiky. Právě tato oblast bývá označována jako první masivní nasazení této technologie v praxi a jedním z jejích cílů bylo nahrazení čárových kódů. Ty jsou ale v dnešní době stále populární, a to hlavně díky jejich nízké ceně a jednoduché výrobě. Z některých dalších oblastí využití této technologie lze zmínit i zemědělství. Zde se používá ke značení hospodářských zvířat, což poté umožňuje zobrazit informace o jednotlivých kusech dobytka.

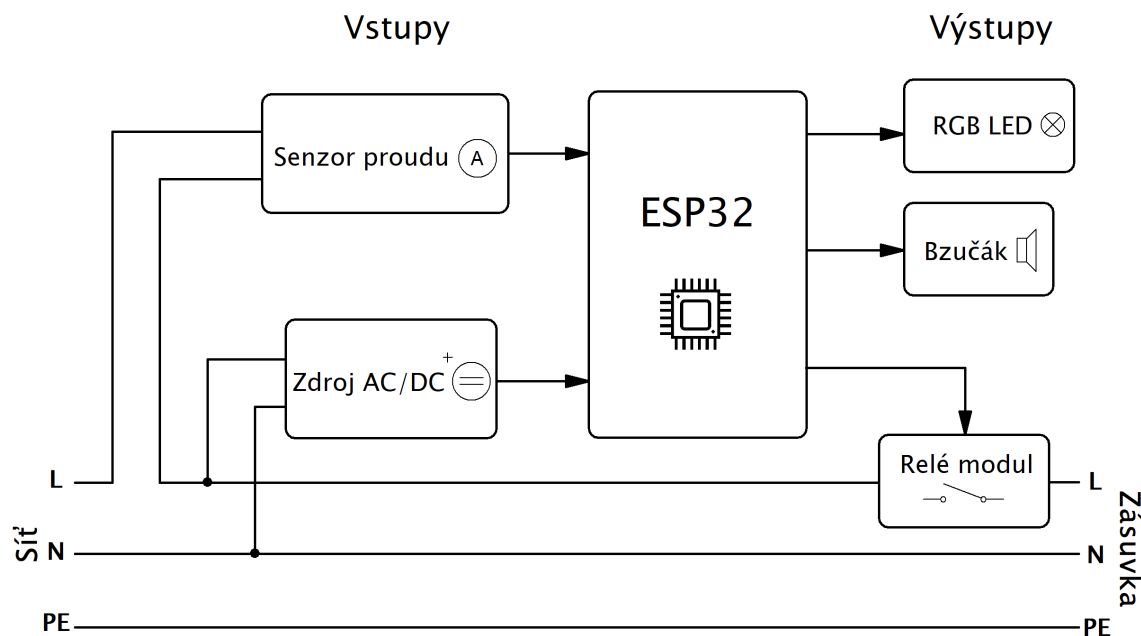
Hlavní myšlenkou RFID technologie určené pro běžné lidi je skutečnost, že každá osoba vlastní svůj identifikační prvek. Ten obsahuje specifický kód, který je pro každého unikátní a jenž většinou odkazuje na nějakou externí databázi, v níž je uloženo více informací o dané osobě. Tato data mohou nabývat mnoha podob, ale pro lepší představu se jedná například o jméno, datum narození, informace o docházce, stavu kreditu nebo o přihlášeném obědě v jídelně. V současné době je nejrozšířenější používání pasivních RFID TAGů, jako jsou karty, čipy nebo visačky, jejichž detekční vzdálenost je zhruba 10 centimetrů. Konkrétně se může jednat o některé platební karty, stravovací čipy, zaměstnanecké a studentské karty nebo třeba lyžařské skipasy. Jedna karta většinou plní i více funkcí, například zaměstnanecká karta může být použita k povolení přístupu na pracoviště, jako nástroj v docházkovém systému, dále jako parkovací karta nebo třeba v závodním stravování.

4 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

4.1 Koncept chytré zásuvky

Cílem této práce je navrhnout a postavit prototyp chytré zásuvky, určené pro použití ve veřejných prostorech. Těmito prostory mohou být například obchodní centra, administrativní budovy nebo knihovny. Zásuvka má být určena k dobíjení přenosných zařízení, jako jsou mobilní telefony, notebooky nebo tablety, ale i jednostopých vozidel z kategorie elektrokol a elektrokoloběžek. Této služby mohou ale využívat pouze vybraní uživatelé, jejichž totožnost se ověří na základě přiloženého RFID čipu nebo karty. Jako čtečka byl použit již zmíněný modul MFRC522.

V průběhu nabíjení se poté měří spotřeba elektrické energie a tyto informace se zaznamenávají do externí cloudové databáze. Toto měření je také nezbytné k automatickému odpojení spotřebiče od zdroje v případě úplného nabití nebo jeho předčasného ukončení. Informace o každém uživateli jsou uloženy v MySQL databázi, kterou se detailněji zabývá až následující kapitola. Zařízení tedy ze své podstaty spadá do kategorie internetu věcí (IoT), jelikož v průběhu používání dochází k časté komunikaci se vzdáleným internetovým serverem. Z tohoto důvodu byla zvolena právě vývojová deska ESP32, popsaná dříve. Na následujícím obrázku 9 je zobrazeno blokové schéma chytré zásuvky včetně všech potřebných komponent, jejichž výběrem se zabývají další části této kapitoly.



Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma chytré zásuvky

4.2 Měření proudu

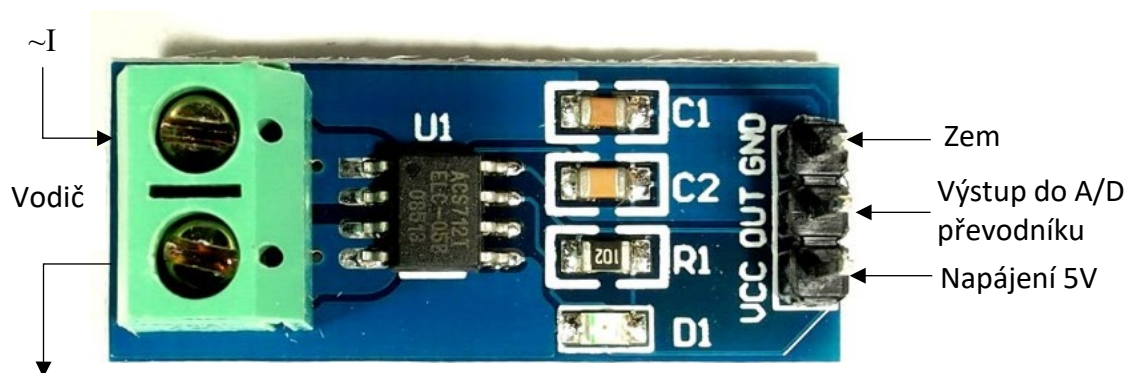
K měření proudu pomocí mikrokontroléru lze obecně využít několika metod. Může se využít bočník, měřicí transformátor proudu, Rogowského cívka nebo senzor typu LEM. Pro aplikaci v chytré zásuvce je především nutná schopnost měřit střídavé proudy ze síťového napětí o velikosti 230 V a frekvenci 50 Hz. Následující podkapitoly se detailněji zabývají výběrem vhodného senzoru, přičemž všechny zmíněné typy byly otestovány.

4.2.1 ACS712

Proudový senzor ACS712 (viz obrázek 10) využívá k měření princip Hallova jevu. Průchodem proudu měřeným vodičem se na výstupu Hallova článku generuje napětí, které je přibližně přímo úměrné velikosti procházejícího proudu. Toto napětí se pak přivede na A/D převodník mikrokontroléru, kde se následně vyhodnotí. Nabízí se několik variant tohoto senzoru, které se liší velikostí maximálního měřeného proudu. Při měření byla použita varianta s rozsahem 20 A a citlivostí 100 mV/A. Senzor je napájen napětím 5 V a výstup se tedy dle velikosti měřeného proudu pohybuje přibližně v rozsahu 0,5–4,5 V. Pokud ale neprochází vodičem proud, je na výstupu senzoru přibližně hodnota 2,5 V. Je to způsobeno tím, že měříme střídavý proud, který mění velikost a polaritu v čase. To znamená, že při měření jedné periody střídavého proudu o amplitudě 1 A získáme na výstupu čidla hodnoty od 2,4 V do 2,6 V, které následně budou odpovídat číselným hodnotám dle rozsahu A/D převodníku (např. 0–4095). Nás však zajímá pouze efektivní hodnota tohoto proudu, z čehož je zřejmé, že je nutné provést určitou softwarovou korekci. Měřená perioda signálu se navzorkuje a měření se provede několikrát za tuto dobu. Z naměřených hodnot se určí maximální a minimální hodnota, dopočítá amplituda a určí efektivní hodnota dle vztahu (1):

$$I_{ef} = \left(\frac{n_{max} - n_{min}}{2} \right) \cdot \frac{U_{AD}}{n_{AD} \cdot C \cdot \sqrt{2}} \quad (1)$$

kde n_{max} respektive n_{min} je maximální respektive minimální hodnota z A/D převodníku, U_{AD} maximální napětí A/D převodníku, n_{AD} rozlišení A/D převodníku, C konstanta citlivosti senzoru a $\sqrt{2}$ převádí výslednou amplitudu proudu na efektivní hodnotu.



Obrázek 10: Senzor proudu ACS712 [27]

Tento typ senzoru proudu však nebyl použit z několika důvodů. A/D převodník ESP32 je určen pro měření napětí do 3,3V, kdežto tento senzor má výstup 5 V. Problém lze vyřešit jednoduchým napěťovým děličem, který ale může snížit celkovou citlivost. Další nevýhodou je stanovení nulové hodnoty proudu před každým měřením a z experimentálního měření vyplynula také určitá teplotní závislost tohoto senzoru. Posledním a zásadním problémem je velmi nízká citlivost pro malé proudy tekoucí měřeným vodičem, prakticky hodnoty z AD převodníku pro proudy menší než 500 mA byly zarušeny nebo nebyly vůbec detekovány.

4.2.2 SCT-013

Proudová sonda SCT-013 (viz obrázek 11) používá ke svému měření princip proudového transformátoru. Primárním vinutím je jeden průvlek měřeného vodiče, sekundárním vinutím je toroidní cívka. Ta zjednodušeně řečeno převádí velký měřený proud na menší, který lze poté přes bočník vyhodnotit mikrokontrolérem. Velikost transformovaného proudu v čase závisí na počtu závitů cívky podle vztahu:

$$i_2(t) = \frac{N_1}{N_2} \cdot i_1(t) = \frac{i_1(t)}{N_2} \quad (2)$$

kde $i_1(t)$ je měřený proud primárním vinutím, $i_2(t)$ proud sekundárním vinutím, N_1 počet závitů primárního vinutí, které je rovno právě jedné, a N_2 je počet závitů sekundárního vinutí. Při měření střídavého proudu získáme na výstupu proudové sondy opět střídavý průběh, ale ve transformované podobě podle rovnice (2). K testování byla použita varianta SCT-013-020, která má již integrovaný bočník, takže jejím výstupem je napětí. Toto napětí má dle parametrů senzoru hodnotu 1 V při měřeném proudu 20 A. Měřený signál je opět nutné jako u předchozího senzoru navzorkovat, zjistit amplitudu a z toho dopočítat efektivní hodnotu proudu.

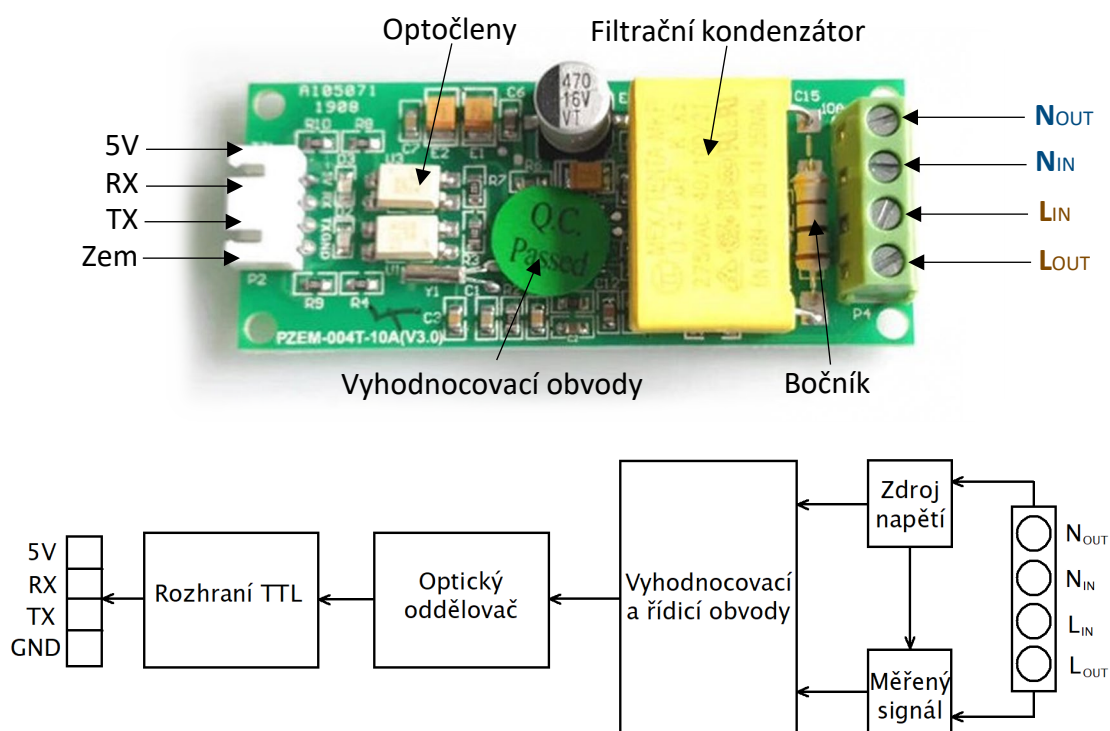


Obrázek 11: Měřicí sonda SCT-013-020 [28]

Tato sonda je dodávána včetně kabelu zakončeného Jack konektorem 3,5 mm a dále obsahuje okénko, do něhož se vkládá měřený vodič. Ten však není nutné nijak přerušovat, jelikož celé jádro lze rozpojit a vodič jím jednoduše obepnout. Výhodou je, že výstupem je již měřitelná hodnota v rozsahu A/D převodníku, a dokonce lze na ESP32 pomocí tzv. atenuace nastavit vstupní napětí A/D převodníku na 1,1 V a celkově tím zvýšit citlivost. Bohužel v praxi se ukázalo, že citlivost není o mnoho lepší než u senzoru ACS712 a opět se při malých proudech naměří velmi nízké napětí, které je na úrovni rušení. Vhodnější by bylo využít zesilovač a následně celý rozsah převodníku, což však ztěžuje řešení. Největší nevýhodou je ovšem fakt, že sonda by svými rozměry ve výsledném prototypu zabírala příliš mnoho místa.

4.2.3 PZEM-004T

Měřicí modul PZEM-004T verze 3 je jednofázový wattmetr určený nejen pro měření střídavého elektrického proudu. Tento malý integrovaný obvod umožňuje měření napětí, proudu, příkonu, účinníku, frekvence a celkové spotřeby elektrické energie. S mikrokontrolérem komunikuje přes rozhraní UART, jelikož obsahuje vlastní vyhodnocovací obvod, a tak na výstupu získáme již správné naměřené hodnoty. Pro účel měření spotřeby obsahuje integrovanou flash paměť, kterou lze případně resetovat. Existují dvě varianty tohoto modulu, jedna využívající bočník a umožňující měření proudu do 10 A, a druhá využívající externí proudový transformátor s rozsahem 100 A.



Obrázek 12: Měřicí modul PZEM-004T v.3.0 ([29], upraveno [30])

Na obrázku 12 je ukázka samotného měřicího modulu a také zjednodušené blokové schéma vnitřního zapojení dle výrobce. Póly svorkovnice označené indexem „IN“ slouží k připojení na běžnou síť (230V/50Hz), naopak index „OUT“ značí připojení výstupní (měřené) zátěže.

Tento měřicí modul nabízí oproti předchozím zmíněným variantám mnoho výhod. Poskytuje celkem přesné a spolehlivé měření bez nutnosti složitého nastavování a kalibrace, která je již provedena od výrobce. Dokáže detekovat minimální proud o velikosti 10 mA (0,010 A) a maximální měřené rozlišení je 1 mA (0,001 A). Velkou předností je měření opravdu činného, nikoliv zdánlivého příkonu spotřebiče. To umožňuje právě nezávislé měření všech veličin potřebných pro výpočet výkonu dle vztahu (3):

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (3)$$

kde U představuje efektivní hodnotu napětí, I efektivní proud a $\cos \varphi$ je tzv. účinník. Ten matematicky udává fázový posun mezi napětím a proudem, způsobený různými typy zátěže (odporová, induktivní, kapacitní) a jejich vzájemnými kombinacemi. Hodnota činného příkonu se následně ve vyhodnocovacím obvodu využívá pro kalkulaci spotřeby elektrické energie (E) dle vzorce (4):

$$E = P \cdot t \quad (4)$$

kde P je činný příkon spotřebiče, a t je doba připojení spotřebiče. Modul pak udává hodnotu v kWh (kiloWatt hodinách) s rozlišením 0,001 kWh. Tato hodnota je pak důležitá pro běžné zákazníky, jelikož se od ní odvíjí celková cena elektrické energie.

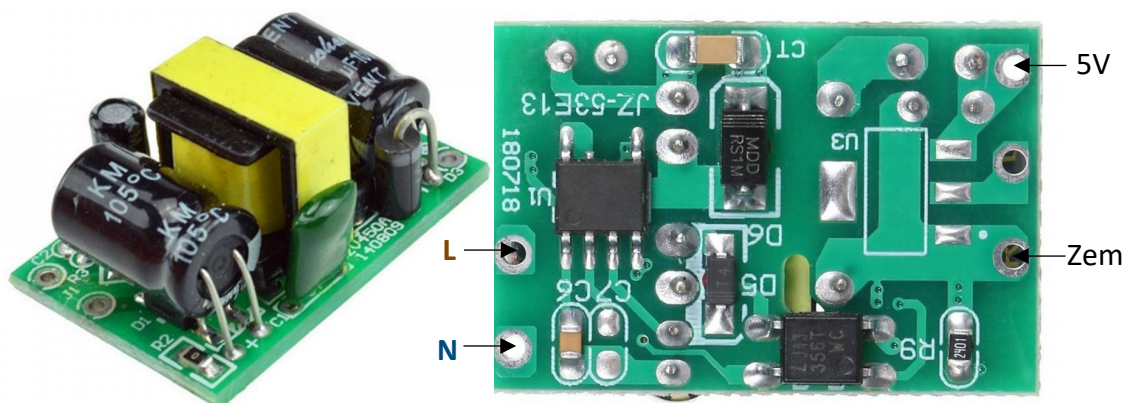
Pro konstrukci chytré zásuvky byla zvolena varianta tohoto měřicího modulu s rozsahem 10 A, který umožňuje měření zátěže o činném příkonu až 2300 W. To bohatě stačí pro naprostou většinu dobíjecích zařízení, jediné mimo elektromobily, pro něž však není tato zásuvka ze své podstaty určena.

Pro ověření přesnosti měření proudu pomocí zmíněného modulu PZEM-004T bylo provedeno měření deseti různých elektrospotřebičů a výsledky byly porovnány s hodnotami z klešťového multimetru UNIT-T UT216C. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v příloze ZIP v souboru „Chytra_zasuvka_MERENI_PROUDU“. Zde je vidět, že měřicí modul má vyšší rozlišení (0,001 A) než multimetr (0,01 A) a celkově poskytuje i stabilnější hodnoty. To je způsobeno rozdílnými metodami při měření proudu.

4.3 Napájecí zdroj

Zdroj napájení je důležitou součástí konstruovaného zařízení. Zajišťuje konstantní napájení samotného mikrokontroléru a také ostatních modulů (měřicí, relé); které pro svůj provoz vyžadují napětí 5 V. Zvolil se modul snižujícího měniče (viz obrázek 13), který dokáže transformovat vstupní (síťové) střídavé napětí 230 V na výstupní stejnosměrné

napětí právě o hodnotě 5 V. Jelikož se jedná o moderní spínaný zdroj, disponuje malými rozměry, které jsou pro tuto aplikaci zvláště výhodné. Nabízí i několik integrovaných ochran proti zkratu, nadproudu a také přehřátí. Důležitým parametrem je rovněž maximální hodnota odebíraného proudu o velikosti 700 mA [31]. Před výběrem samotného zdroje bylo zapojení chytré zásuvky napájeno pomocí laboratorního zdroje, který zobrazuje hodnotu proudu. S jeho pomocí bylo zjištěno, že při nečinnosti zařízení (není zapojen spotřebič) je odebíráán proud 80 mA. Největší změna velikosti proudu nastane při sepnutí relé (zahájení procesu nabíjení), v tomto okamžiku proud vyrostě až na 200 mA a následně se ustálí na 160 mA. Zvolený napájecí zdroj tedy poskytuje určitou proudovou rezervu a nedochází tak k jeho přetěžování.

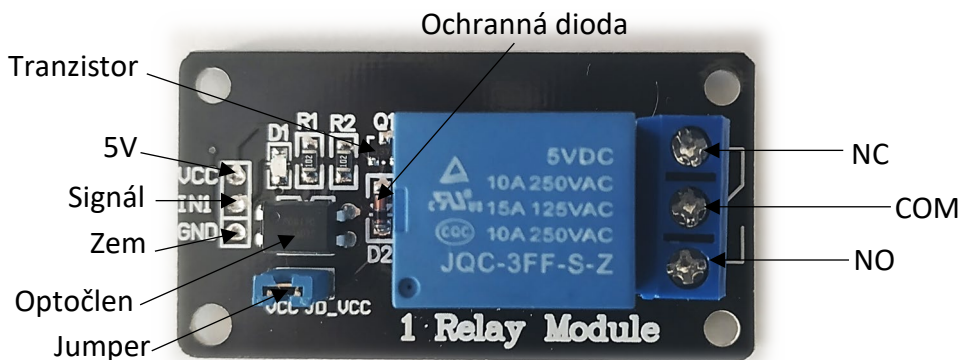


Obrázek 13: Napájecí zdroj 230V AC-DC 5V/700mA [31]

4.4 Elektromechanické součástky

4.4.1 Spínací relé

Dalším důležitým komponentem je relé, které na základě signálu z mikrokontroléru umožňuje sepnout nebo rozepnout své kontakty a tím spojit nebo rozpojit silový obvod. Zvolila se varianta kompletního jednokanálového relé modulu (viz obrázek 14).



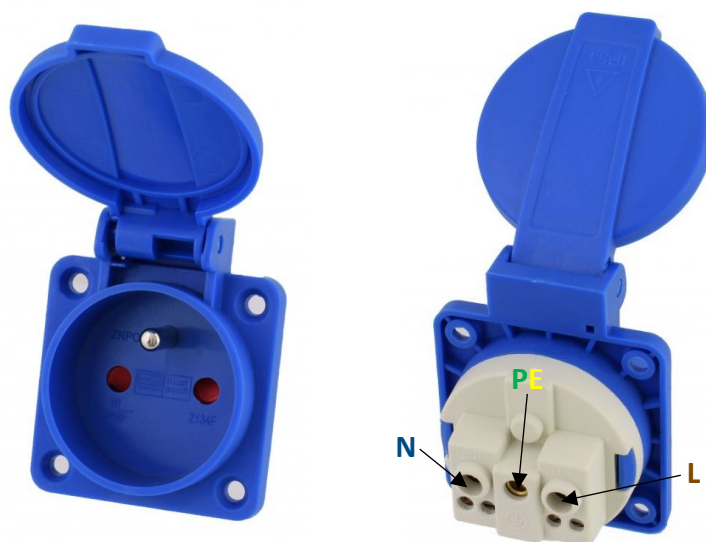
Obrázek 14: Jednokanálový relé modul 5 V

Tento relé modul poskytuje spínání malými proudy (tzv. low-trigger) pomocí integrovaného tranzistoru a je tedy vhodný pro celou řadu mikrokontrolérů, jejichž výstupní proud je příliš malý pro ovládací cívku [32]. Funkce spínání má ale obrácenou logiku, takže při nastavení výstupního pinu na logickou 1 jsou kontakty rozpojeny, a naopak při logické 0 jsou spojeny.

Řídicí signál je galvanicky oddělen od výstupu prostřednictvím optočlenu. Výhodou je možnost nastavit pomocí zkratovací propojky (tzv. jumper), zda bude při sepnutí relé napájeno stejným zdrojem napětí jako celý modul. To se v této konkrétní aplikaci využilo, a tak je při sepnutí veškerý proud odebírán z napájecího zdroje a mikrokontrolér není zatěžován. Samozřejmostí tohoto relé jsou tři výstupní svorky NO (Normally Open – v klidu rozepnuto), NC (Normally Close – v klidu sepnuto) a jejich společný kontakt COM.

4.4.2 Elektrická zásuvka

Z pohledu koncového uživatele je samotná zásuvka jedním z klíčových prvků celého navrženého zařízení. Na trhu se nachází nepřeberné množství různých zásuvek, lišících se oblastí použití, stupněm krytí a designem. Pro výrobu zařízení byla zvolena vestavná zásuvka 230V/16A se stupněm krytí IP54, znázorněná na obrázku 15. Ta je určena pro montáž přímo do panelu elektrického přístroje, a to pomocí čtyř šroubů M4. Zásuvka je opatřena samozavírací krytkou, která zvyšuje její odolnost. Podle krytí IP54 je odolná vůči vniku cizích těles a částečně proti prachu (IP5x), vůči tryskající vodě ze všech směrů (IPx4), což je například déšť, ale nikoliv proti kompletnímu ponoření ve vodě [34]. Kvůli těsnění mezi zásuvkou a panelem je od výrobce také vybavena gumovou podložkou. Zásuvku je tedy možné používat i ve venkovním prostředí. Na zadní straně jsou umístěny šroubovací svorky pro přívodní vodiče.



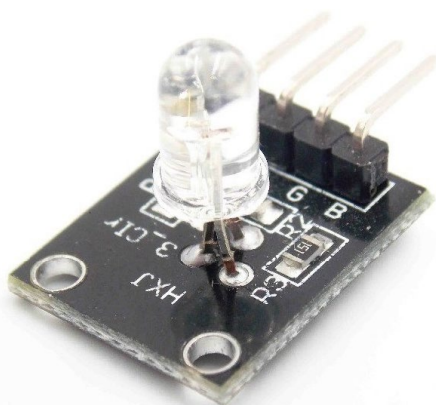
Obrázek 15: Zásuvka vestavná IP54 Z134F modrá (upraveno [33])

4.5 Indikační prvky

Jedná se o vizuální a akustické prvky, které informují uživatele o stavu chytré zásuvky.

4.5.1 Světelný indikátor

V případě vizuálního indikátoru byl použit RGB LED modul KY-016 (viz obrázek 16). Skládá se ze tříbarevné LED a předřadných SMD rezistorů, které snižují napájecí napětí na požadovanou velikost. Tříbarevná LED v podstatě integruje tři nezávisle ovládané LED s červenou, zelenou a modrou barvou. Ty se ovládají přivedením napětí na některý ze tří vstupních pinů a zapojením zbývajících čtvrtého pinu na společnou zem mikrokontroléru. Modul je určen na napájení o hodnotě 5 V, ale jelikož maximální napětí výstupního pinu ESP32 je 3,3 V; musela být použita právě tato hodnota. Tím se sice sníží proud tekoucí jednotlivými LED, ale ve výsledku se jejich jas sníží jen nepatrně a světelná indikace je i přesto výrazná. Snížení proudu má alespoň výhodu v tom, že se zvýší životnost LED.



Obrázek 16: Keyes Ky-016 RGB LED modul [35]

4.5.2 Akustický indikátor

Druhým indikátorem, který dává uživateli určitou zprávu o stavu zařízení, je akustický indikátor v podobě aktivní bzučáku (viz obrázek 17). Ten je již přímo určen na



Obrázek 17: Aktivní bzučák 3,3 V [36]

stejněsměrné napájení 3,3 V. Přivedení obdélníkového průběhu napájecího napětí o určité frekvenci vyvolá mechanické kmitání malé plošky v bzučáku. Tento rychlý mechanický pohyb následně generuje zvukové vlny. Změnou frekvence přivedeného napětí tedy dochází také ke změně akustické frekvence generovaného tónu. Tyto tóny lze pak pomocí určité Arduino knihovny skládat a tvořit různé melodie.

5 REALIZACE PROTOTYPU

Hlavní část této práce je věnována vývoji a konstrukci prototypu chytré zásuvky. Funkčnost tohoto zařízení je zde popsána z hlediska mechatronického výrobku. Kapitola je tak rozdělena do tří hlavních oddílů, zabývajících se řídicí, elektrotechnickou a mechanickou částí výsledného navrženého řešení.

5.1 Řídicí část

Do první části se řadí veškeré úkony související s programováním, ať už se jedná o samotný mikrokontrolér nebo databázový systém. Na obrázku 18 se nachází zjednodušený vývojový diagram celého řídicího procesu. Samotný kód mikrokontroléru lze dle podstaty jazyka Wiring rozdělit na dvě hlavní části, a to funkce `void setup()` a `void loop()`, jejichž jednotlivé procedury jsou nadále detailněji rozebrány.

5.1.1 Funkce `setup()`

Tato funkce se provede při každém novém spuštění programu. To může být vyvoláno připojením celého zařízení k napájení i jeho nenadálým výpadkem, ale i na základě pokynu mikrokontroléru k restartu celého programu. V samotné funkci se nastavují počáteční parametry řídicího programu, inicializují se knihovny a vytváří se připojení k internetové síti a externí databázi.

Nastavení parametrů

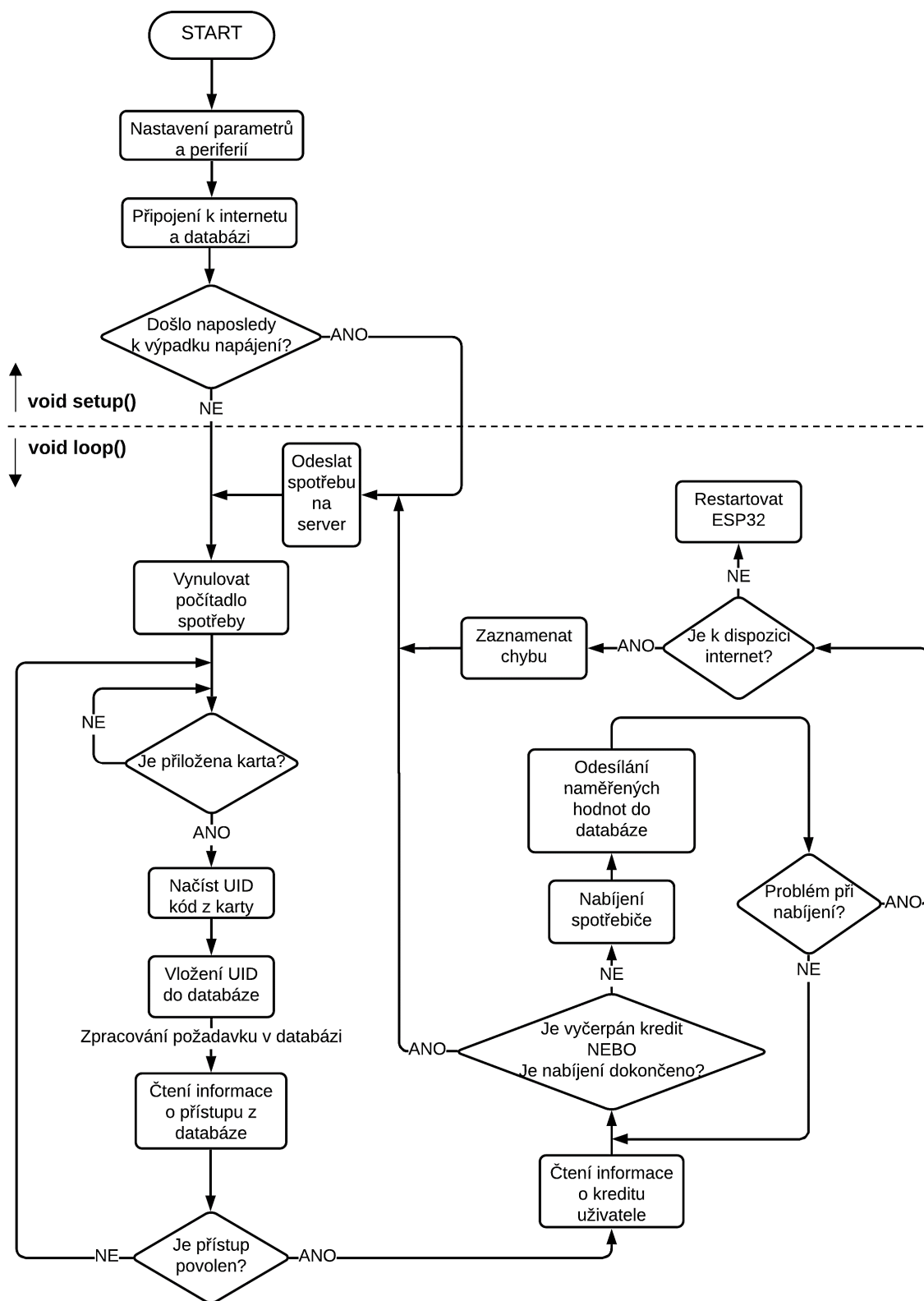
Mezi počáteční parametry patří nastavení vstupně/výstupních pinů, k nimž jsou připojeny periferie, jako je RFID čtečka, relé nebo jednotlivé LED. Výstupní piny je také vhodné pro jistotu nastavit do základního logického stavu.

Nastavení knihoven

Inicializace knihoven umožňuje jejich nastavení ještě před jejich samotným použitím. V tabulce 4 je soupis použitých knihoven včetně názvu hlavičkového souboru, autora a stručného popisu.

Tabulka 4: Přehled použitých knihoven

Název	Autor	Popis
MFRC522.h	Dr. Leong, Miguel Balboa	Ovládání čtečky RFID přes SPI
PZEM004Tv30.h	Jakub Mandula	Ovládání měřicího modulu
MySQL_Generic_WiFi.h	Dr. Charles Bell, Khoi Hoang	Komunikace s databází
timer.h	Bruno Calou Alves	Různé softwarové časovače
Tone32.h	Ida Bernstone	Generování akustických tónů



Obrázek 18: Obecný vývojový diagram řídicí části chytré zásuvky

Připojení k internetu a databázi

Dle vývojového diagramu na obrázku 18 následuje procedura připojení k internetu a databázi. ESP32 již obsahuje ovládací knihovnu potřebnou pro ovládání Wi-Fi. Jednoduše se tak pomocí příslušné funkce zadá název sítě (tzv. SSID) a také přístupové heslo, pokud se tedy nejedná o veřejnou síť. Jakmile bylo toto připojení úspěšné, následuje navázání komunikace s externí cloudovou databází. K tomu je vhodná knihovna MySQL Connector od autora Charlese Bella, která byla původně určena pouze pro Arduino. Úpravu pro ESP32 pak provedl další autor, Khoi Hoang. Pomocí této knihovny je možné spravovat MySQL databázi na základě SQL příkazů vysílaných přímo z mikrokontroléru. Zdrojový kód samotné knihovny byl pak ještě při testování doladěn tak, aby komunikace mezi ESP32 a databází poskytovala rychlejší odezvu. Procedury připojování k internetu a databázi jsou prováděny opakovaně, dokud není připojení navázáno. Správný průběh je uživateli indikován modrou LED. Běžně tento proces nezabere více jak 3 sekundy, po kterých je zařízení ihned připraveno k použití.

Kontrola nedokončeného procesu nabíjení

Poslední procedurou funkce setup() je kontrola, zda při posledním použití chytré zásuvky nedošlo k neočekávanému přerušení při procesu nabíjení. Z vlastností měřicího modulu PZEM-004T (viz kap. 4.2.3) vyplývá, že obsahuje integrovanou flash paměť pro čítač spotřeby elektrické energie. Díky tomu má i v případě výpadku napájení stále uloženou aktuální hodnotu spotřeby. V této proceduře se tedy zjistí, zda je stále v paměti nenulová hodnota; v tomto případě ji znovu odešle na server. Zde se následně přiřadí k poslednímu uživateli, který zařízení používal (dle tabulky Historie přístupů). Paměť spotřeby energie se poté již může vymazat.

5.1.2 Funkce loop()

Hlavní část řídicího programu se provádí v této nekonečné smyčce void loop(). Přejít z minulé funkce do této hlavní je signalizován rozsvícením zelené indikační LED. Její konstantní svit také označuje, že je celé zařízení připraveno k použití.

Hledání a načtení identifikačního prvku

První procedurou je hledání RFID tagu v dosahu čtečky MFRC522. V tomto stavu setrvává zařízení až do té doby, dokud není přiložen některý z identifikačních prvků. Jakmile je prvek v dosahu antény, načtou se jeho informace a z nich se vyfiltruje specifický UID kód (viz kap. 3.2). Zároveň v programu dochází k opuštění cyklu, zajišťujícího hledání tagů, a následuje procedura ověřování načteného kódu.

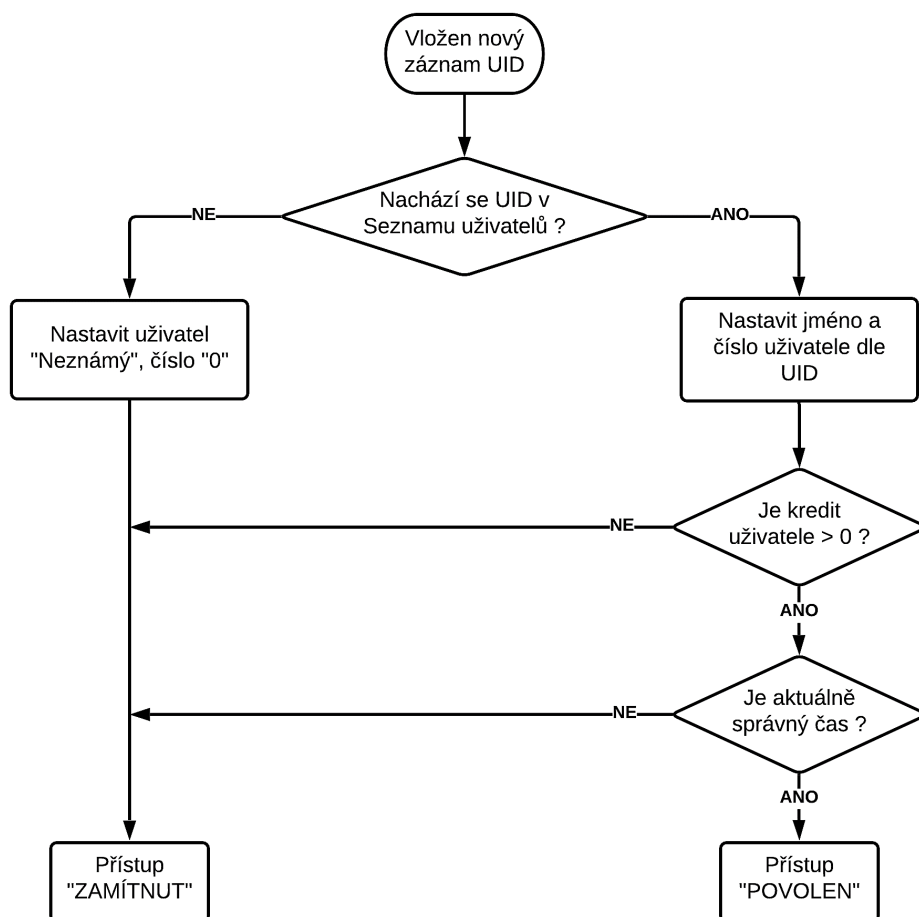
Ověření uživatele

Ověření uživatelem přiložené karty probíhá prostřednictvím cloudové databáze. Pomocí mikrokontroléru a příslušného SQL příkazu se odešle načtený UID kód do této databáze, která ho zpracuje. V tabulce Historie přístupů se pak objeví informace o uživateli a jeho

přístupu ve znění „POVOLEN“ nebo „ZAMÍTNUT“ (ukázka na obrázku 19). Dalším SQL příkazem si mikrokontrolér zjistí právě tuto informaci o přístupu a vyhodnotí ji. V průběhu komunikace s databází je rozsvícena modrá indikační LED. Pokud byl přístup povolen, řídicí program se přesouvá do dalšího cyklu – procesu nabíjení a rozsvítí se zelená LED spolu se zazněním akustického tónu. V opačném případě svítí červená LED a rozezní se jiný (varovný) zvukový signál a následně se program po krátké pauze vrací zpět do procedury hledání dalšího RFID tagu.

Poradi	UID_karty	Cislo_uzivatele	Jmeno_uzivatele	Cas	Pristup
476	C7D511B4	1	Tereza Dvorakova	2021-03-21 17:35:29	ZAMITNUT
477	4A5A7529	3	Pavel Havlicek	2021-03-21 17:35:34	POVOLEN
478	174CFBA6	0	Neznamy	2021-03-21 17:52:21	ZAMITNUT
479	3EA9AE29	0	Neznamy	2021-03-21 17:52:27	ZAMITNUT

Obrázek 19: Ukázka záznamů z tabulky Historie přístupů



Obrázek 20: Procedura cloudové databáze pro ověření uživatele

V cloudové databázi je procedura ověřování UID kódu založena na funkcionalitě phpMyAdmin s označením trigger (spoušť). Jedná se o program určený pro konkrétní tabulku a tvořený SQL příkazy, které se provedou vždy při určité události (INSERT, UPDATE, DELETE). Existují dva druhy triggeru – ty, které se provedou před událostí (BEFORE) a po ní (AFTER). V této konkrétní aplikaci se využila kombinace BEFORE INSERT, což znamená, že před vložením nového záznamu (UID kódu) se tento stav vyhodnotí v tabulce Historie přístupů. Vložený kód se tedy porovná s kódy uvedenými v tabulce Seznam uživatelů. Podle shody nebo neshody se doplní údaje o uživateli do předchozí tabulky Historie přístupů, a hlavně se zde stanoví informace o přístupu. Kompletní procedura, kterou provádí cloudová databáze, je zobrazena na obrázku 20.

Z obrázku 20 je také patrné, že existence uživatele v databázi není jedinou podmínkou k udělení přístupu a používání chytré zásuvky. V navrženém řešení byly vytvořeny další dvě funkcionality: kreditový a časový systém. Kreditový systém omezuje nadměrnou spotřebu elektrické energie. Samotný kredit představuje pro každého uživatele maximální hodnotu spotřeby elektrické energie (v kWh) a jeho nedostatek tedy způsobí zamezení přístupu a nemožnost nabíjení přenosných zařízení. Časový systém zase omezuje používání chytré zásuvky na určitou denní dobu. To může být užitečné právě ve veřejných prostorách (např. obchodní centra), kde se omezí používání celého zařízení pouze na otevírací dobu.

Proces nabíjení

Před zahájením samotného procesu nabíjení se pomocí databáze zjistí uživatelův zbývajícím kredit pro pozdější účely. Po tomto úkonu je sepnuto relé, které umožní průchod proudu a na levé zdírce zásuvky se objeví síťové napětí 230 V. Uživatel tak může zapojit svůj elektrospotřebič (pokud již tak neučinil) a zahájit jeho dobíjení. V průběhu celého nabíjení je tento proces indikován zeleně blikající LED, a to tak, že každé 2 sekundy změní svůj stav. V tomto intervalu také probíhá měření a výpočet všech veličin pomocí modulu PZEM-004T (napětí, proud, příkon, frekvence, účinník a spotřeba). Pro vyhodnocení, zda bylo nabíjení dokončeno, je z těchto veličin nejdůležitější proud. Jakmile je jeho hodnota nulová – z vlastností měřicího modulu nižší než 10 mA (odpovídá činnému příkonu 2,3 W), dochází k inkrementaci softwarového čítače. V okamžiku, kdy je hodnota čítače rovna 4, což znamená že, 4 po sobě jdoucí měření ukázala nulovou hodnotu proudu, je celý proces nabíjení ukončen. Z časového hlediska se jedná o dobu 6 sekund, po kterou netekl žádný nebo pouze zanedbatelný proud. Tato procedura samozřejmě funguje i v případě, že byl spotřebič předčasně odpojen nebo nebyl vůbec připojen. Zásuvka se tedy kvůli bezpečnosti sama po chvíli uzamkne.

Poradi	Napeti	Proud	Prikon	Spotreba	Frekvence	Ucinik	Cislo_uzivatele	Jmeno_uzivatele	Cas
89	237.3	0.125	29.6	0.000	50.0	1.00	1	Tereza Dvorakova	2021-02-23 20:11:01
90	237.2	0.124	29.4	0.000	50.0	1.00	1	Tereza Dvorakova	2021-02-23 20:11:31
91	237.5	0.124	29.4	0.000	50.0	1.00	1	Tereza Dvorakova	2021-02-23 20:12:01
92	237.4	0.123	29.2	0.000	50.0	1.00	1	Tereza Dvorakova	2021-02-23 20:12:31

Obrázek 21: Ukázka naměřených dat z tabulky Záznam nabíjení

Z vývojového diagramu na obrázku 18 je zřejmé, že v tomto procesu ještě dochází k odesílání naměřených hodnot do databáze. Odesílání je nastaveno tak, že se odešle aktuálně naměřená hodnota každých 30 sekund. To odpovídá každé 15. naměřené hodnotě a je to signalizováno krátkým „prokliknutím“ modré LED. Ukázka naměřených hodnot je na obrázku 21. Mikrokontrolér odesílá pouze naměřené hodnoty, ostatní sloupce tabulky (jméno, číslo uživatele) doplňuje procedura databáze (trigger) a informace o pořadí i času jsou generovány automaticky. Obecně je mikrokontrolér nastaven tak, aby odesílal a přijímal pouze nezbytně nutná data, ostatní automaticky doplní databázový systém.

K předčasnému ukončení nabíjení dochází v případě překročení dostupného kreditu. Mikrokontrolér nepřetržitě porovnává hodnotu uživatelského kreditu, zjištěnou na začátku procesu, s aktuální spotřebou elektrické energie. Jakmile se tyto hodnoty shodují, proces nabíjení je ihned ukončen. Ukončení procesu nabíjení je vždy spojeno s rozepnutím relé, zazněním akustického tónu a odesláním celkové spotřeby energie do databáze. Zde se v tabulce Seznam uživatelů tato spotřeba přičte k aktuálnímu stavu konkrétního uživatele a také odečte od jeho zbývajících kreditu. Zobrazovaná hodnota spotřeby je v kWh s minimem 0,001 kWh (1 Wh), což vyplývá z vlastností měřicího modulu (viz kap. 4.2.3). Tabulka Seznam uživatelů včetně ukázkových hodnot spotřeby a kreditu je na obrázku 22. Zde je také mimo jiné vidět UID kód každého uživatele, který slouží k ověřování uživatele. Pro přehlednost a orientaci má každý uživatel ještě své osobní uživatelské číslo (ID).

Uzivatske_cislo	Jmeno	UID_karty_uzivatele	Spotreba	Kredit
1	Tereza Dvorakova	C7D511B4	0.015	1.985
2	Karel Novak	ABF54FS8	0.005	1.995
3	Pavel Havlicek	4A5A7529	0.15	1.85

Obrázek 22: Ukázka tabulky Seznam uživatelů

Ukončením procesu nabíjení opouští program aktuální cyklus a vrací se zpět k proceduře hledání RFID identifikačního prvku. Zásuvka je poté opět připravena k použití, což je signalizováno konstantním svícením zelené LED.

Ochranné procedury

V průběhu nabíjení je aktivní několik softwarových ochranných funkcí, které se snaží zvyšovat bezpečnost celého zařízení. V první řadě je to vyhodnocování některých naměřených dat, konkrétně napětí a proudu. Pokud by hodnota napětí v síti byla mimo interval stanovený normami, tj. $230\text{ V} \pm 10\%$, je proces nabíjení po chvíli ukončen a zároveň je do databáze odeslána varovná informace. To se děje i v případě odběru příliš velkého proudu, vyššího než 8 A, ale nižšího než maximálně dovoleného (10 A), na který je celé zařízení dimenzováno. Na tento maximální proud samozřejmě reagují již externí „hardwarové“ ochrany (jistič, pojistka), které způsobí okamžité odpojení celého zařízení od zdroje. Tato softwarová ochrana tak zabrání jen nadměrnému odběru proudu, nikoliv však překročení maximálního proudu nebo dokonce zkratu.

Další procedurou je již zmíněná ochrana při výpadku napájení, která zajistí, že naměřené hodnoty spotřeby se i při náhlém výpadku napájení (např. přerušení dodávky elektrického proudu při bouři) nebo přerušení připojení k internetu zaznamenají do databáze k poslednímu aktivnímu uživateli, a to v okamžiku dalšího spuštění chytré zásuvky.

Následujícími procedurami jsou ochrany při nedostupnosti internetového připojení a komunikace s databází. Celé zařízení je ze své podstaty závislé na připojení k internetové síti. Mikrokontrolér tak vždy při vykonávání SQL příkazů ověřuje, zda proběhly úspěšně. V opačném případě nastává krátká pauza a druhý pokus o jejich vykonání. Pokud ale ani v tomto případě nedochází ke komunikaci se serverem, je nejjednodušším řešením ukončit proces nabíjení a následně kompletně restartovat ESP32. Program se tak vrátí do funkce setup() a pokusí se znovu připojit k internetu a navázat nové spojení s databází. V tomto stavu také může setrvat až do té doby, dokud není k dispozici předdefinovaná Wi-Fi síť (indikováno konstantním svitem modré LED). Po opětovném připojení může pak ještě nastoupit předchozí zmíněná ochranná procedura.

Posledním ochranným prvkem je kontrola komunikace mezi ESP32 a měřicím modulem PZEM-004T přes rozhraní UART. Pokud by byla tato komunikace přerušena, do mikrokontroléru by se nedostávaly číselné hodnoty veličin, ale nečíselné pod označením NaN (Not a Number). Po chvíli se tedy opět ukončí samotný proces nabíjení a chybová informace se odešle do databáze.

Císlo	Popis	Druh	Cas
1	Chyba pri mereni pomoci modulu PZEM-004T	Chyba	2021-03-22 09:36:56
2	Chyba pri mereni pomoci modulu PZEM-004T	Chyba	2021-03-22 09:36:58

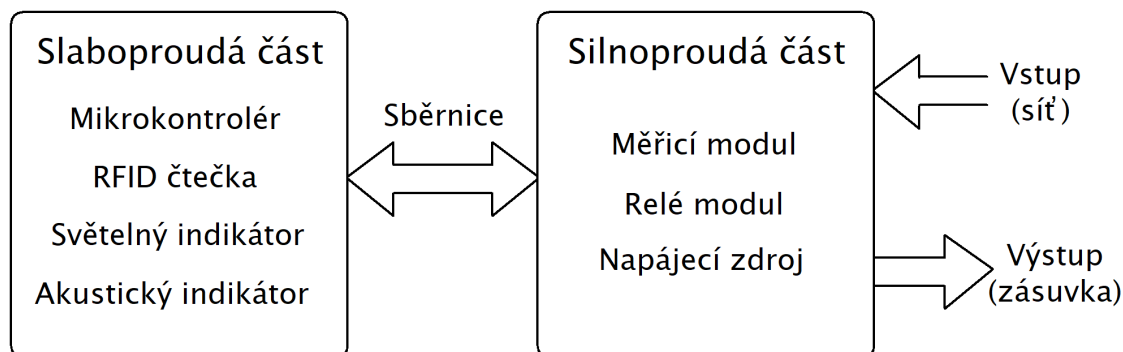
Obrázek 23: Ukázka z tabulky Chybový protokol

Všechny problémy, vzniklé při používání celého zařízení, jsou ukládány do databáze, konkrétně do tabulky Chybový protokol. Zde je uveden popis problému, druh (chyba, upozornění) a čas, kdy byl způsoben. Správce chytré zásuvky si tak může přehledně zobrazit veškeré problémy a podle závažnosti je opravit. Ukázka chybového protokolu je na obrázku 23. Tento ukázkový problém byl simulován odpojením komunikačního vodiče měřicího modulu v průběhu nabíjení.

Na závěr této řídicí části je vhodné zmínit, že veškerý naprogramovaný kód je uveden v příloze archivu ZIP. Ve složce „Chytrá zásuvka – MIKROKONTROLÉR“ se nachází řídicí kód mikrokontroléru včetně detailního komentáře. V další složce „Chytrá zásuvka – KNIHOVNY“ najdeme zdrojové soubory jednotlivých použitých knihoven. Ve složce „Chytrá zásuvka – DATABÁZE“ jsou uvedeny jednotlivé procedury (triggery), které provádí cloudová databáze.

5.2 Elektrotechnická část

Do druhé části patří veškeré operace spojené s elektronikou, ať už se jedná o návrh desky plošných spojů (dále DPS) nebo výsledné zapojení všech komponent. Navržené řešení bylo rozděleno do dvou hlavních částí – slaboproudé a silnoproudé (viz obrázek 24). Tomu také odpovídají dvě samostatně vyrobené DPS, propojené společnými vodiči (sběrnici). Následující podkapitoly tak detailněji pojednávají o těchto jednotlivých částech.

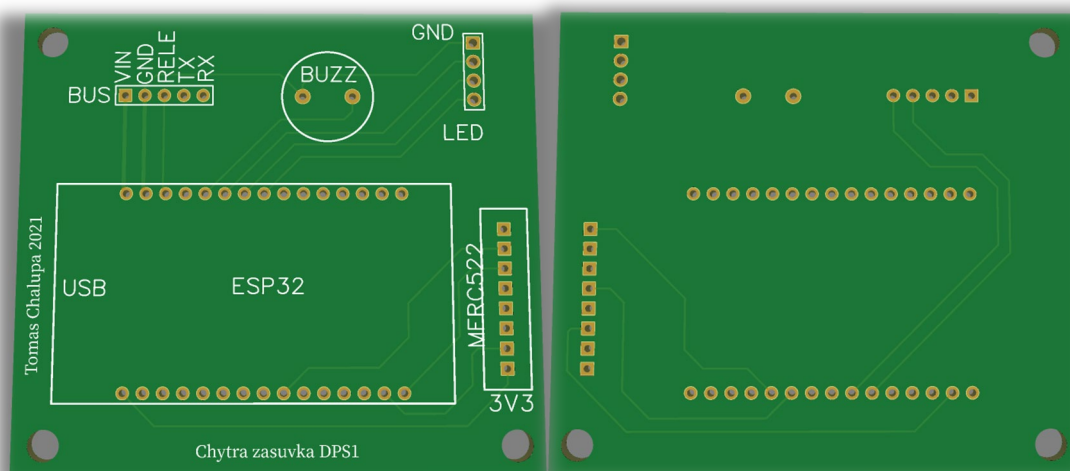


Obrázek 24: Zjednodušené blokové schéma elektrotechnické části

5.2.1 Slaboproudá část

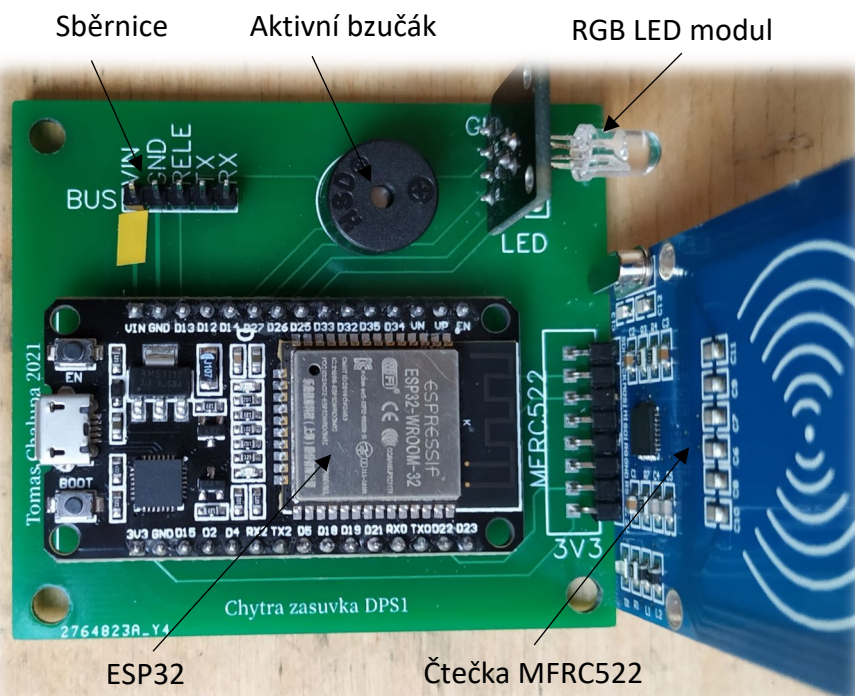
Hlavní komponentou této části je samotný mikrokontrolér ESP32. Ten zajišťuje řízení ostatních periférií z této části (MFRC522, LED, bzučák), ale i ze silnoproudé části (relé, PZEM-004T). Napájecí zdroj ze silnoproudé části poskytuje napájení samotného mikrokontroléru. Ostatní komponenty slaboproudé části jsou již přímo napájeny z ESP32.

Výsledné schéma bylo navrženo s pomocí bezplatného online nástroje EasyEDA a je uvedeno na konci této práce v příloze. V tomto nástroji také proběhl návrh DPS uvedené v příloze na konci práce. Jelikož je portál EasyEDA přímo propojen s populárním výrobcem JLCPCB, byl právě tento zvolen k výrobě obou částí DPS. Na obrázku 25 se nachází 3D model slaboproudé části DPS a její výslednou podobu včetně všech osazených součástek vidíme na obrázku 26. Jedná se o oboustrannou DPS o tloušťce 1,6 mm v zelené barvě s potiskem, jejíž signálové spoje mají šířku 1 mil (0,254 mm) a napájecí 2 mil (0,508 mm). Rozměry desky činí 67,3 x 59,8 mm a v jejích třech rozích se nacházejí montážní otvory o průměru 4 mm. Při jejím návrhu bylo nutné mít již přibližnou představu o umístění jednotlivých komponent v celém zařízení. Z tohoto důvodu byla čtečka MFRC522 umístěna u okraje desky tak, aby se nacházela v těsné blízkosti předního panelu. Obdobně byl umístěn i RGB LED modul, u kterého se navíc počítalo s větším přesahem kvůli diodě, aby byla ve výsledku zapuštěna do panelu. Naopak ESP32 byla uspořádána tak, aby její microUSB konektor směřoval do zadní části prototypu a bylo tak možné zapojit ji k PC a přeprogramovat. Účel tohoto uspořádání je pak zřetelnější z následující podkapitoly 5.3, zabývající se mechanickou konstrukcí.



Obrázek 25: 3D model DPS slaboproudé části

Na obrázku 25 a 26 je také patrná sběrnice (BUS), která tvoří rozhraní mezi slaboproudou a silnoproudou částí. Je dohromady tvořena pěti vodiči, z nichž dva jsou napájecí (VIN – 5 V a GND – zem) a tři signálové (RX, TX – komunikace s měřicím modulem přes UART a RELE – pin pro spínání relé modulu). Sběrnice je na obou DPS prakticky realizována kolíkovou lištou, do které se zapojí propojovací vodiče typu dupont (samice – samice). Aby během připojování vodičů do kolíkové lišty nedošlo k jejich záměně, je jeden vodič a kolík označen žlutou lepicí páskou.

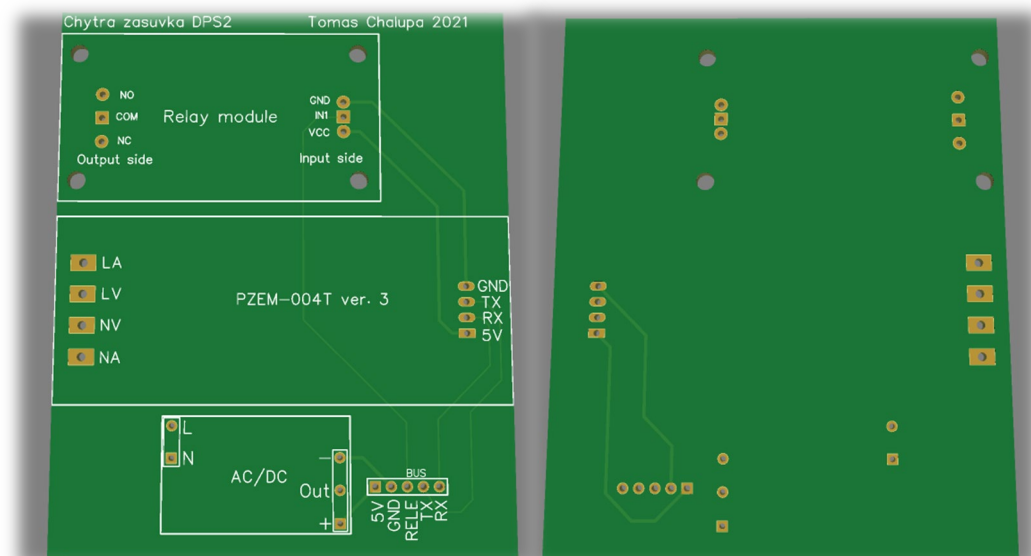


Obrázek 26: Osazená DPS slaboproudé části

5.2.2 Silnoproudá část

Dle blokového schématu na obrázku 24 obsahuje tato část tři hlavní komponenty, které ze své podstaty nějak pracují se síťovým napětím a proudem. Kompletní schéma zapojení silnoproudé části je uvedeno v příloze. Napájecí zdroj je zde připojen paralelně k síti a na svém výstupu generuje požadované stejnosměrné napětí (5 V), kterým jsou pak napájeny zbývající komponenty a také celá slaboproudá část. Modul PZEM-004T má dvě svorky připojené na síťové napětí a zbylé dvě slouží pro měření proudu. Chovají se tak jako zdroj, na který se následně připojí měřený spotřebič, a to přes výstupní zásuvku. Mezi touto zásuvkou a měřicím modulem je však ještě umístěno relé, které musí být v sepnutém stavu, aby mohl protékat proud. Kvůli bezpečnosti se samozřejmě spíná fázový vodič, a proto se v rozepnutém (klidovém) stavu relé neobjeví v zásuvce žádné napětí.

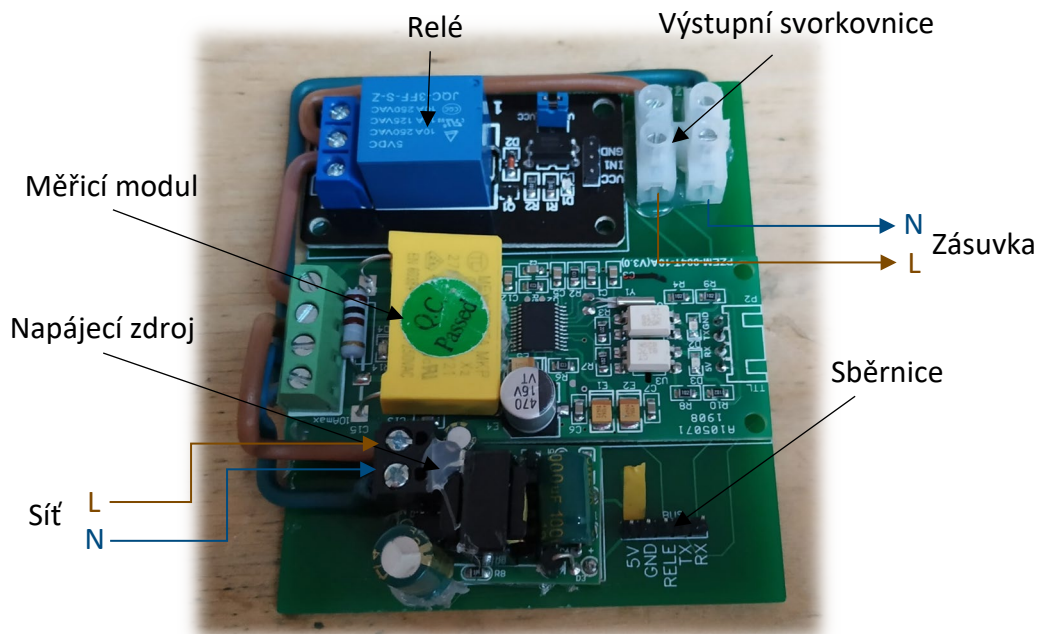
Obdobně jako ve slaboproudé části byla navržena oboustranná DPS pomocí nástroje EasyEDA, a to se stejnými parametry; 3D model desky je uveden na obrázku 27. Celá deska je však kvůli měřicímu modulu rozměrnější (89 x 74,3 mm). Opět bylo nutné mít určitou představu o rozmístění jednotlivých komponent. Všechny jsou orientovány tak, že v jedné části jsou umístěny svorkovnice, do kterých se připojují silové vodiče, a v druhé části se nachází pouze jednotlivé signálové spoje. Je tak vytvořena určitá izolační bariéra mezi rozdílnými napěťovými úrovněmi.



Obrázek 27: 3D model DPS silnoproudé části

Na dalším obrázku 28 se již nachází kompletní osazená DPS. Zde je vhodné zmínit způsob propojení silových vodičů mezi jednotlivými svorkovnicemi. Nabízelo se provedení formou plošných spojů, které by ale musely splňovat určitá bezpečnostní pravidla (šířka spoje, izolační mezery). Proto bylo raději vybráno řešení formou „kabelového vedení“. To bylo vytvořeno tak, aby nedocházelo k nepřehlednému zapojení a spleti různých vodičů. Proto se namísto klasického kabelu typu lanko použil drát. Jelikož není lehce ohebný, drží svůj tvar, a navíc jej lze podle potřeby formovat. Ostatní

silové vodiče, které jsou připojeny k této DPS, jsou již provedeny jako lanko. Všechny vodiče jsou měděné o průřezu 1 mm^2 , který vyhovuje jmenovitému proudovému zatížení (10 A) tohoto zařízení, například dle [37] (uvedené hodnoty je ale vhodné brát s rezervou). Izolace vodičů také dle normy odpovídají příslušným barvám (hnědý – fázový, modrý – nulový a zelenožlutý – ochranný vodič).



Obrázek 28: Osazená DPS silnoproudé části

Při výrobě prototypu bylo také nutné vyřešit způsob napájení celého zařízení. Pokud by se jednalo o hotový výrobek, byla by zásuvka umístěna pevně na zdi. Nahradila by tak původní (klasickou) zásuvku a využila její vodiče (L, N, PE) vedoucí z elektroinstalační krabice. Ty by se poté v chytré zásuvce zapojily do vstupní svorkovnice, z níž by byly vyvedeny k jednotlivým komponentům. Tato nová zásuvka by pak měla být připojena na jistič s jmenovitým proudem 10 A. V této práci se však jedná pouze o ukázkový produkt, který připomíná finální a je jednoduše přenositelný. Proto musí být opatřen přívodním napájecím kabelem a až poté připojen do klasické zásuvky.

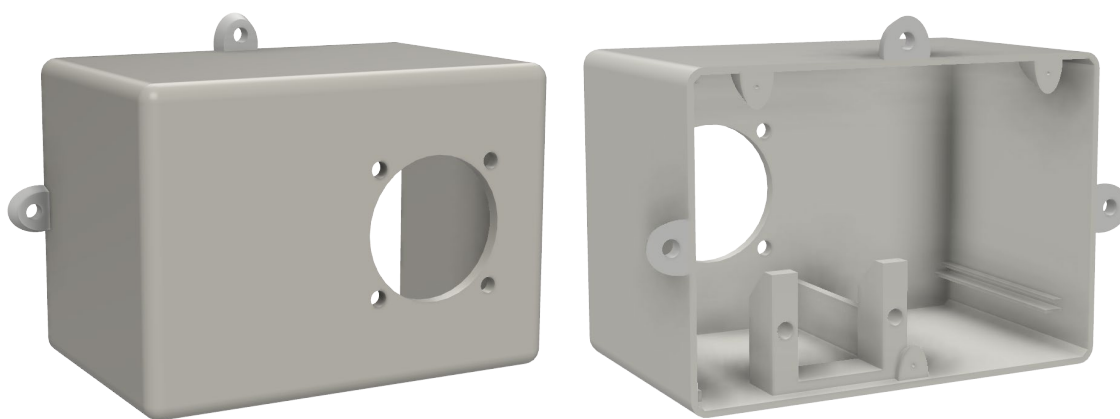
Pro lepší manipulaci byl na zadní straně chytré zásuvky umístěn napájecí IEC konektor, který tak umožňuje odpojení i samotného napájecího kabelu. Konektor v sobě navíc obsahuje pojistku (10A, rychlá trubičková 5x20 mm), která chrání celé zařízení v případě nadproudu. Na zadní straně konektoru jsou umístěny tři vidlice pro jednotlivé vodiče. Ty byly opatřeny fastony, nalisovány na vidlice a následně zaizolovány pomocí smršťovací bužírky. Druhý konec vodičů byl kvůli snadnější manipulaci ve svorkovnici opatřen dutinkami. Zmíněné vodiče jsou pak připojeny paralelně k napájecímu zdroji, dle obrázku 28 (označeno jako vstup – síť). Z tohoto obrázku je rovněž zřejmé, že z výstupní svorkovnice již směřují pracovní vodiče do samotné zásuvky. Ochranný vodič zde není zobrazen, ale směřuje přímo z IEC konektoru do zásuvky, aby nebyl nijak přerušen. Tento PE vodič je také kvůli bezpečnosti nejdelší, aby v případě násilného vytržení zůstal zapojen jako poslední.

5.3 Mechanická část

Poslední část této kapitoly je věnována mechanické konstrukci samotného prototypu chytré zásuvky. Jak již bylo zmíněno, prototyp by měl připomínat finální výrobek, ale zároveň byl brán zřetel na určitá „omezující“ kritéria. Prvním je přenositelnost celého zařízení, která již byla řešena v předchozí části. Druhým je možnost provedení některých dodatečných úprav v elektrotechnické a řídicí části. Poslední kritérium se týká prezentace výrobku, aby bylo možné předběžně ukázat, jak by vypadal v provozu. Mechanická část se tak zabývá návrhem a následnou konstrukcí krytu (krabíčky), do níž se vhodně umístí veškeré komponenty z elektrotechnické části. Z pohledu koncového uživatele se jedná o velmi důležitou část, jelikož s ní bude v průběhu používání přicházet do styku. Kryt celého zařízení je také nezbytný z hlediska bezpečnosti, jelikož zamezuje přímému dotyku vnitřních částí, které mohou být pod napětím.

5.3.1 Technologie výroby

Prvním důležitým bodem bylo zvolit technologii a materiál výroby krabíčky. Nejdříve se uvažovalo nad použitím některé na trhu dostupné elektroinstalační krabice. Její výhodou je, že je přímo určena pro elektrické zařízení. Bohužel z katalogu těchto nabízených krabic bylo zjištěno, že nevyhovují svými rozměry a provedením. Prototyp však musel být navržen dle specifických požadavků, čehož se docílilo technologií 3D tisku. S její pomocí je tak možné poměrně jednoduše docílit přesně požadovaných rozměrů a vlastností, kladených na výsledný prototyp. Jako materiál pro 3D tisk byl použit filament typu PLA, který má pro vytvoření prototypu dostatečné mechanické vlastnosti. Vyznačuje se pevností, teplotní stálostí a jednoduchým tiskem. Dle některých informací je i nehořlavý, ale pokud bychom realizovali finální výrobek, nejvhodnějším materiálem by byl filament z ABS.



Obrázek 29: Navržený 3D model chytré zásuvky

5.3.2 Návrh modelu

Nejdříve musel být navržen virtuální 3D model této krabičky (viz obrázek 29), který byl následně přetvořen na fyzický pomocí 3D tiskárny. Při modelování byla využita kombinace programů Tinkercad a Autodesk Fusion 360. Tinkercad je jednoduchý a bezplatný webový nástroj, v němž byl vymodelován základní tvar. Tento model lze následně přímo z tohoto nástroje importovat do Autodesku. Použitá verze Fusion 360 je z části bezplatná a určená pro „hobby“ použití, ale i přesto nabízí kvalitní nástroje pro tvorbu 3D modelů. V této aplikaci pak byly provedeny další úpravy importovaného modelu (např. zaoblení hran). Postup návrhu modelu je rozebrán v následujících odstavcích.

Přední část

Celkově se nabízelo několik různých možností, jak umístit jednotlivé komponenty z elektrotechnické části. Jejich vnitřní umístění má však největší vliv na podobu tzv. předního panelu. Jedná se o přední část chytré zásuvky, jejíž plocha je rovnoběžná s povrchem, na němž je zařízení umístěno. Koncepce předního panelu byla zvolena tak, aby veškeré prvky, které uživatel používá, byly umístěny právě v této části. Na obrázku 30 vidíme přední část navrženého modelu.



Obrázek 30: Pohled na přední část prototypu

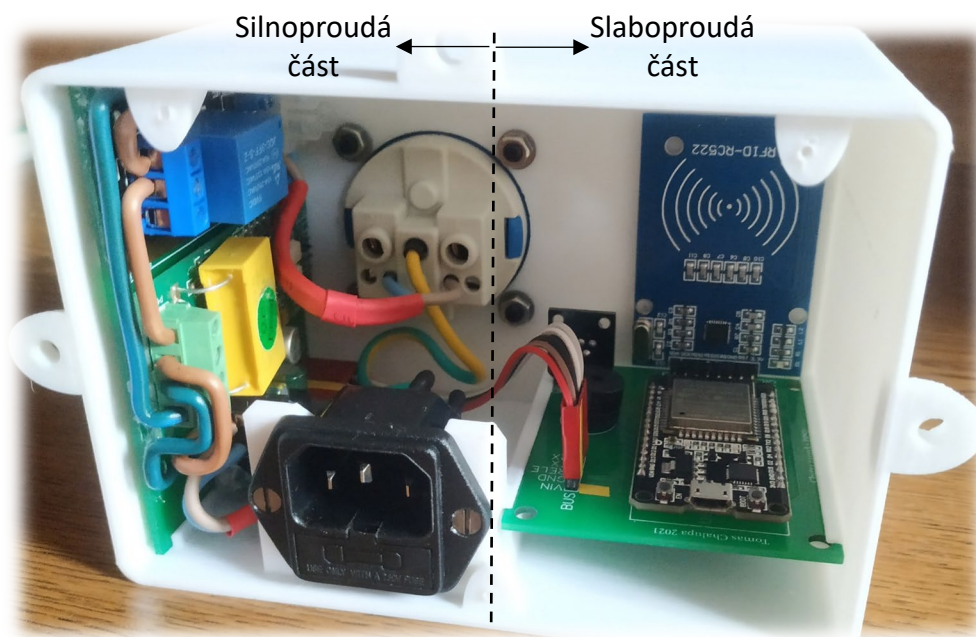
Zde jsou také vyznačeny tři hlavní uživatelské prvky chytré zásuvky. Prvním je samotná zásuvka zasazená do otvoru o průměru 44 mm a k ní 4 montážní díry o průměrech 5 mm. Druhým prvkem je indikační LED. Otvor pro tuto LED nebyl vymodelován proto, že nebylo jednoduché přesně určit jeho polohu, a tak byl vyvrtán až při finální montáži jednotlivých komponentů. Aby nebylo světlo z LED rozptýleno uvnitř celého zařízení, byla do otvoru vložena malá mosazná objímka, která stíní LED a soustřeďuje její paprsky do jednoho směru. Otvor byl poté uzavřen průhledným

plastovým kroužkem. Posledním hlavním uživatelským prvkem je místo pro čtečku MFRC522, která je umístěna z druhé strany co nejbliže ke stěně, aby se zbytečně nesnížil její dosah. Prostor čtečky byl označen samolepkou se symbolem k přiložení RFID tagu.

Přední panel byl navržen tak, aby byl ze všech stěn z hlediska tloušťky nejsilnější, jelikož je při vkládání zástrčky do zásuvky nejvíce namáhán. Tloušťka tak činí 4 mm a při 3D tisku byla nastavena zvýšená výplň materiálu.

Vnitřní část

Dovnitř krabičky bylo nezbytné vhodně umístit všechny komponenty z elektrotechnické části. Navržené řešení (viz obrázek 31) si zakládá na oddělení silnoproudých a slaboproudých prvků, ale se zachováním optimálních rozměrů celého zařízení. Toto řešení také počítá s jednoduchou rozebíratelností všech komponent. Navržený 3D model tak obsahuje drážky, do kterých se zasunou jednotlivá DPS. Rozměry drážek počítají s malým přesahem, takže obě DPS drží na svých místech, ale zároveň je lze vysunout. Důležitou roli hrála pozice a orientace jednotlivých částí DPS. Slaboproudá část byla umístěna vodorovně a je vyvýšena tak, aby RFID čtečka pokrývala větší část předního panelu. Silnoproudá část DPS je naopak umístěna svisle, čímž se docílilo úspory místa při zachování funkčnosti. Tato deska je orientovaná tak, aby veškeré svorkovnice mířily do zadní části, tedy blíže ke zdroji síťového napětí.



Obrázek 31: Pohled na vnitřní část prototypu

Všechny boční strany tohoto zařízení mají shodnou tloušťku 2 mm a jsou v rozích zaobleny s poloměrem 5 mm. Toto zaoblení by však způsobilo úbytek materiálu a zeslabení celé konstrukce v těchto rozích, a proto byly na jejich vnitřních stranách naopak zpevněny. Prostřední „sloupek“, na němž je umístěna drážka pro slaboproudou část DPS, také ve výsledku zpevňuje celou konstrukci.

Zadní část

V provedení zadní části se prototyp od skutečného výrobku liší nejvíce. Ve skutečném provozu by byla tato část otevřená a přímo přimontovaná k povrchu (zed', sádkartón) a nebylo by nutné detailněji řešit její provedení. Pouze by se vyřešilo přichycení a možná i těsnění. Aby prototyp co nejvíce připomínal skutečný výrobek, bylo zmíněné přichycení naznačeno třemi úchyty s otvorem o průměru 5 mm. Do nich by se vložil vrut, který by se zašrouboval do předem připravených hmoždinek ve zdi. Zásadní rozdíl mezi skutečným výrobkem a prototypem je ten, že zadní stěna musela být nějak uzavřena. Toto uzavření má hlavně bezpečnostní funkci v tom, že zabráňuje přímému dotyku živých částí, které jsou umístěny na zadní straně (např. svorkovnice). Aby bylo možné prototyp lépe prezentovat, byla tato část vyrobena z průhledného materiálu. Tím pádem se nabízí možnost nahlédnout dovnitř, spatřit jednotlivé komponenty a lépe tak pochopit vnitřní zapojení chytré zásuvky (viz obrázek 32). Jako průhledný materiál bylo zvoleno plexisklo o tloušťce 2 mm. To bylo nařezáno na požadované rozměry a v rozích zaobleno. Následně byly vyvrtány tři montážní otvory, kterými se plexisklo může přichytit k samotné krabici. V ní jsou vymodelovány tři přichytné plochy ve tvaru kuželu s předvrtaným otvorem, do nichž se plexisklo přichytí pomocí závrtných šroubů. Celé plexisklo je poté plně zapuštěno do zadní stěny.



Obrázek 32: Pohled na zadní část prototypu

Na zadní části prototypu je rovněž důležité provedení IEC konektoru, který je zde zasazen do držáku. Prvotní návrh počítal s tím, že se toto držadlo vyrobí samostatně a poté se zde připevní (např. lepením). Konektor s držákem je ale při zasouvání napájecího kabelu poměrně namáhán, a tak se tento prvek pro jistotu stal součástí 3D modelu a byl vytisknut. Výtisk byl však kvůli tomu komplikovanější, neboť držák musel být vytištěn s podporami. Na samotný 3D tisk celé krabice bylo spotřebováno asi 165 g filamentu (55 m struny) a trval přibližně 16 hodin (v příloze ZIP je také ukázka 3D tisku).

Kompletně vytvořený 3D model je obsažen v příloze ZIP v souboru „Chytra_zasuvka_3DMODEL.stl“. V této příloze jsou k dispozici také fotografie z výroby a sestavování prototypu. Ke 3D modelu byla také vytvořena výkresová dokumentace, která se nachází v příloze na konci této práce. V přiloženém ZIP souboru je také soupis všech použitých součástí a materiálu při kompletaci celého zařízení chytré zásuvky.

6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI

Po sestavení prototypu bylo nezbytné ho náležitě vyzkoušet. Provedla se kontrola funkčnosti celého zařízení, některých ochranných procedur a také ukládání naměřených dat do databáze. Těmito tématy se zabývají následující podkapitoly. Poslední část kapitoly se věnuje možnému budoucímu rozšíření chytré zásuvky.

6.1 Testování zařízení

Aby bylo zřejmé, ve které proceduře se nachází řídicí část prototypu, bylo zařízení občas v průběhu testování připojeno také přes USB kabel k počítači. To umožňuje komunikaci mezi ESP32 a PC přes sériovou linku na základě předem naprogramovaných stavových zpráv. Ty výrazně usnadňují ladění celého programu (debugging), jelikož se zobrazují v sériovém monitoru v Arduino IDE včetně jejich časové značky (timestamp).

6.1.1 Spouštění

Po připojení napájení se řídicí část dostává do první hlavní funkce void setup() a provedou se tedy její jednotlivé procedury (viz kap. 5.1.1). Z hlediska uživatele je však patrné rozsvícení modré indikační LED, která signalizuje připojování k síti a databázi. Na obrázku 33 vidíme výpis ze sériového monitoru v průběhu spouštění chytré zásuvky.

Připojení k Wi-Fi	<div> <div>09:57:52.119 -> Připojovani k siti STARLINK</div> <div>09:57:52.713 -> .Připojeno k siti s IP adresou: 192.168.0.103</div> </div>
Připojení k databázi	<div> <div>09:57:52.713 -> Připojovani k databazi: 35.234.92.142, Port = 3306</div> <div>09:57:52.713 -> Uzivateľ = freedbtech_Tom268_admin, Databaze = freedbtech_chytra_zasuvka</div> </div>
Kontrola výpadku	<div> <div>09:57:53.557 -> Predchozi nedokoncene nabijeni se spotrebou:</div> <div>09:57:53.557 -> 0.015</div> <div>09:57:53.838 -> Data vlozena</div> </div>
Připraveno k použití	<div> <div>09:57:53.932 -> Prilozte kartu ke ctecce...</div> </div>

Obrázek 33: Výpis ze sériového monitoru v průběhu spouštění zařízení

Na tomto obrázku je také patrná funkce ochranné procedury v případě výpadku napájení nebo internetového připojení. To se simulovalo tak, že v průběhu posledního nabíjení se odpojila chytrá zásuvka od napájecí sítě a po chvíli se znovu připojila. Tím

se potvrdilo, že měřicí modul má stále v paměti uloženou poslední hodnotu spotřeby elektrické energie, která se tak může znovu odeslat do databáze k poslednímu uživateli. Celkově lze z testování vyvodit, že proces připojování k internetu a databázi nezabere více jak 2 sekundy, a to i v případě aktivování ochranné procedury. Tento čas ale není v průběhu spouštění až tak důležitý.

6.1.2 Kontrola uživatele

Jakmile řídicí část opustí funkci void setup(), dostává se do hlavní funkce void loop() a chytrá zásuvka je připravena k použití. To je signalizováno konstantním svitem zelené LED a uživatel tak může přiložit svůj identifikační prvek (např. kartu) ke čtečce. Průběh přiložení karty je znázorněn na obrázku 34. Nejdříve dochází k přečtení samotné karty a zjištění jejího UID kódu. Ten se následně vloží do cloudové databáze do tabulky Historie přístupů, databáze ho zpracuje a zobrazí u něj informaci o přístupu. Mikrokontrolér si tuto informaci přečte a podle toho provede další operace (viz kap 5.1.2). Důležité je také zmínit, že cloudová databáze pracuje v jiném časovém pásmu (UTC) než mikrokontrolér (CET), a proto je zde čas posunut o 2 hodiny dozadu.

10:51:26.087 -> UID karty: 174CFBA6

10:51:26.368 -> Data vložena

10:51:26.650 -> Data nactena

Cloudová databáze

Poradi	UID_karty	Cislo_uz	Jmeno_uz	Pristup	Cas
682	174CFBA6	0	Neznamy	ZAMITNUT	2021-05-17 08:51:26

10:51:26.696 -> Neznama karta

10:51:29.982 -> Prilozte kartu ke ctecce...

Obrázek 34: Výpis ze sériového monitoru a znázornění komunikace s databází při ověřování karty

U této procedury byl při ladění největší problém s časem, za který je vyhodnocení přiložené karty provedeno. Kvůli tomu musela být vhodně upravena knihovna pro komunikaci s databází tak, aby celkový čas nezabral více než 1 sekundu. Obecně je to však rychlejší, přibližně 0,6–0,8 sekundy. V situaci na obrázku 34 tato procedura zabrala přesně 0,609 sekundy a jelikož byla přiložena neznámá karta (uživatel není v databázi), následuje bezpečnostní pauza a až poté výzva k přiložení další karty.

6.1.3 Nabíjení

Pokud byl proces ověření přiložené karty úspěšný, spustí se nabíjení připojeného elektrospotřebiče. Jakmile je nabíjení dokončeno nebo předčasně ukončeno, odešle se

naměřená hodnota spotřeby do databáze ke konkrétnímu uživateli. Tato procedura byla ověřena jako funkční. Při nabíjení dochází také k průběžnému odesílání naměřených dat v určitém intervalu. V průběhu odesílání nebyl zaznamenán žádný problém, a to ani při velmi dlouhém nabíjení; v databázi jsou naměřené hodnoty vždy uloženy přesně dle nastaveného intervalu (30 sekund). Záznamem a zpracováním naměřených dat se detailněji zabývá následující podkapitola 6.2.

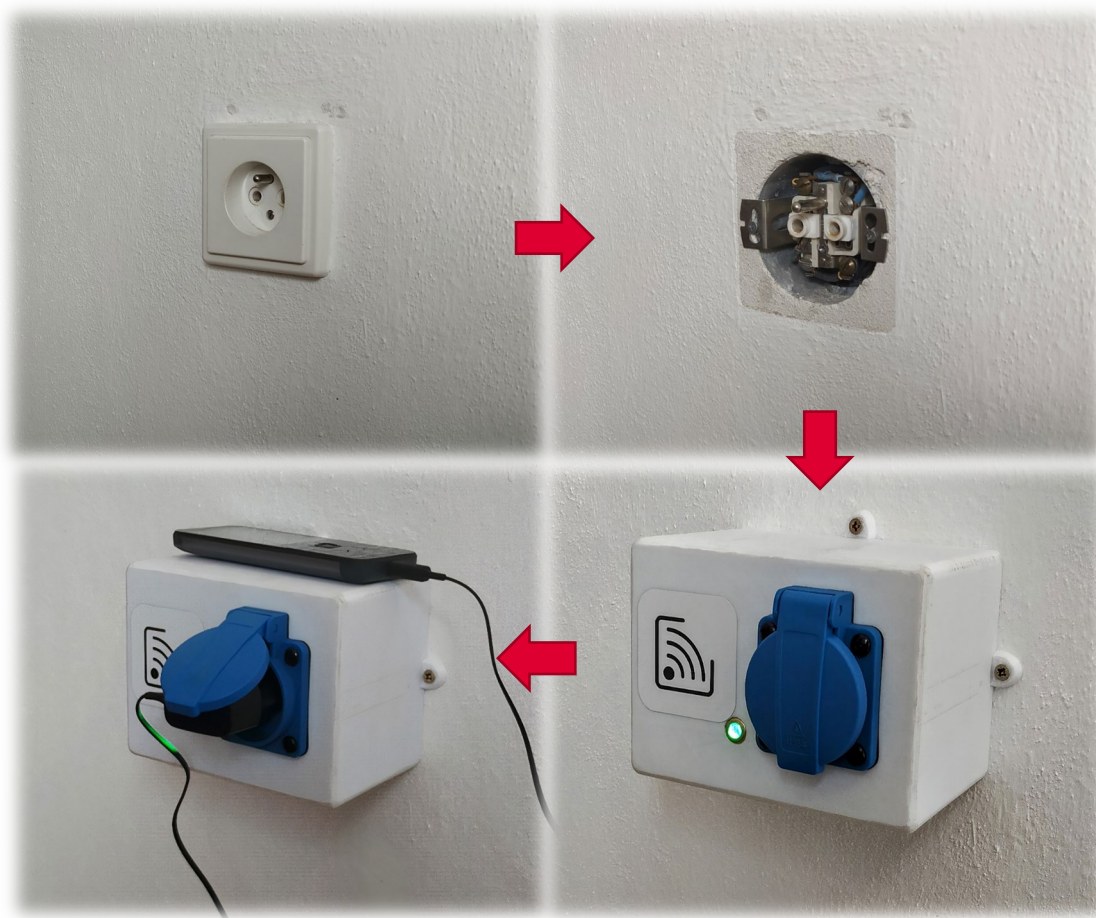
V procesu nabíjení je také aktivních několik ochranných funkcí (viz kap 5.1.2). Činnost ochrany proti přepětí a podpětí v síti nebyla kvůli složité realizaci testována. Naopak softwarová ochrana proti nadměrnému odběru proudu byla úspěšně testována s pomocí rychlovarné konvice o příkonu 2000 W, jejíž odebíraný proud byl větší než nastavená hranice 8 A, a tak asi po 6 sekundách došlo k automatickému odpojení od sítě. Zařízení bylo však rovněž testováno v předchozím stavu bez zmíněné ochrany a jednalo se tak o formu „zátěžového testu“. Naměřená data z tohoto testu najdeme na obrázku 35. Po tomto testu bylo zařízení zkontrolováno a nevykazovalo žádné poškození ani výrazně zvýšenou teplotu součástí. Chytrá zásuvka je ale určena pro dobíjení elektrospotřebičů (telefony, elektrokola); jejichž odběr proudu bude dosahovat maximálně 5 A, a tak je zmíněný test spíše informativní.

Poradi	Napeti	Proud	Prikon	Spotreba	Frekvence	Ucinik	Cislo_uzivatele	Jmeno_uzivatele	Cas
303	231.4	8.087	1871.1	0.031	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:35:22
304	231.5	8.104	1876	0.046	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:35:52
305	231.0	8.098	1870.6	0.062	49.9	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:36:22
306	230.7	8.093	1866.8	0.078	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:36:52
307	231.4	8.128	1880.8	0.093	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:37:22
308	232.0	8.159	1893.3	0.109	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:37:52
309	231.6	8.145	1886.5	0.125	50.0	1.00	3	Pavel Havlicek	2021-03-23 12:38:22

Obrázek 35: Naměřená data ze zátěžového testu

6.1.4 Zapojení v provozu

Na závěr testování navrženého prototypu bylo toto zařízení vyzkoušeno tak, jak by pracovalo již ve skutečném provozu. Kvůli tomu bylo nutné provést montáž zařízení na zeď. Nejdříve byla vybrána původní zásuvka, která měla být nahrazena chytrou zásuvkou, a proběhla její demontáž. Prototyp se upravil pouze tak, že ze zadní části byl demontován napájecí IEC konektor. Následně se vodiče z původní zásuvky použily k napájení prototypu, jenž byl poté připevněn na zeď. Zjednodušený postup této výměny klasické zásuvky za chytrou je znázorněn na čtyřech fotografiích na obrázku 36. Poslední z této čtveřice snímků ukazuje výsledné použití uživatelem ve formě nabíjení jeho mobilního telefonu. Při tomto testu bylo mimo jiné zjištěno, že horní část krabičky chytré zásuvky může při nabíjení sloužit jako odkládací prostor pro mobilní telefony, a to i dotykové s většími rozměry.



Obrázek 36: Výměna klasické zásuvky za chytrou a ukázka jejího provozu

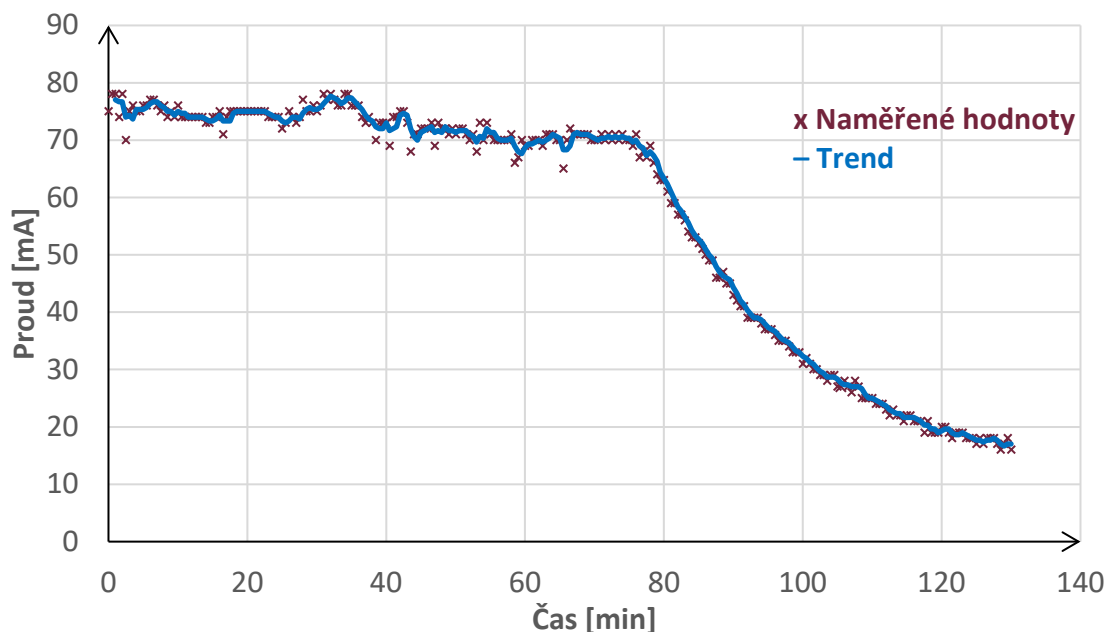
6.2 Záznam nabíjení

Tato podkapitola se zabývá vyhodnocováním naměřených dat z měřicího modulu PZEM-004T. Ta jsou uložena v databázi, konkrétně v tabulce Záznam nabíjení, a lze je jednoduše exportovat do souboru CSV a následně zpracovat v tabulkovém procesoru (např. Excel). Pro účely vyhodnocování naměřených dat bylo provedeno nabíjení dvou elektrospotřebičů – mobilního telefonu a elektrokola. Veškerá naměřená data včetně grafů byla zpracována v MS Excel a jsou uvedena v příloze ZIP.

6.2.1 Mobilní telefon

Prvním měřeným elektrospotřebičem byl mobilní telefon Xiaomi Mi A2. Telefon obsahuje lithium-polymerový akumulátor o kapacitě 3010 mAh a jmenovitém napětí 3,85 V. Před zahájením nabíjení byla kapacita akumulátoru zhruba na 10 %. Ze

všech naměřených dat byly vykresleny grafy, zde v práci je pro přehlednost uveden pouze průběh proudu (viz obrázek 37), ostatní se nachází ve zmíněné příloze.



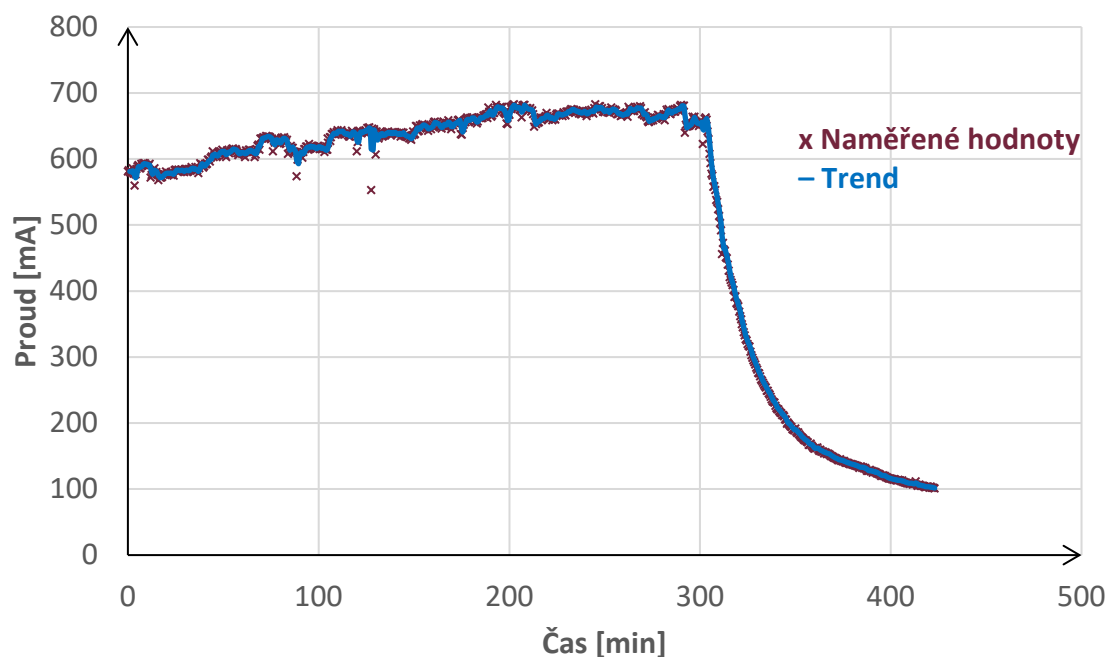
Obrázek 37: Průběh proudu v čase při nabíjení mobilního telefonu

Z grafu na obrázku 37 je patrné, že první část nabíjení (asi 75 minut) probíhá přibližně konstantním proudem (ve skutečnosti mírně klesá). Ve druhé části již proud klesá přibližně exponenciálně. Nabíjení bylo dokončeno asi při proudu 15 mA, poté ho řídicí obvody nabíjecího adaptéru úplně ukončily nebo snížily pod hranici 10 mA, což vyhodnotila i chytrá zásuvka a kompletně odpojila telefon od elektrické sítě. Nabíjení trvalo 2 hodiny a 10 minut a celková spotřebovaná energie byla pouze 15 Wh (0,015 kWh odpovídá zhruba ceně 0,073 Kč dle [38]). Tato hodnota je také nižší z toho důvodu, že naměřený účinník byl v průběhu měření přibližně 0,55. Měření proudu rovněž prokázalo, že měřicí modul dodává celkem vyrovnané údaje a nedochází k výrazným výkyvům. Hodnoty proudu a napětí byly průběžně kontrolovány na externím digitálním měřiči spotřeby elektrické energie. Samotný příkon však nebyl kontrolován, jelikož použitý měřič ukazuje pouze zdánlivý příkon (VA).

6.2.2 Elektrokolo

Druhým měřeným elektrospotřebičem bylo elektrokolo Maxbike E-city 700c. To obsahuje lithium-iontový akumulátor o kapacitě 13 Ah a jmenovitém napětí 37 V. Před zahájením nabíjení byla kapacita akumulátoru zhruba na 25 %. Opět je pro přehlednost uveden pouze graf odebíraného proudu, a to na obrázku 38. Z něho je patrné, že tato nabíjecí křivka se tvarem přibližně podobá předchozímu grafu u mobilního telefonu. Největší rozdíl je v tom, že nabíjení trvá mnohem déle a odebíraný proud je větší. V první

fázi (asi 5 hodin) tento proud také lehce narůstá; ve druhé naopak strměji klesá (opět přibližně exponenciálně). Nabíjení bylo ukončeno manuálně, jelikož dodávaný nabíjecí adaptér zřejmě neumožňuje jeho automatické ukončení, pouze tento stav signalizuje, a to asi při proudu 100 mA. Celé nabíjení tak trvalo skoro 7 hodin a celková spotřebovaná energie byla 483 Wh (0,483 kWh odpovídá zhruba ceně 2,33 Kč dle [36]). Opět se potvrdily celkem vyrovnané hodnoty v průběhu celého nabíjení.



Obrázek 38: Průběh proudu v čase při nabíjení elektrokola

6.3 Rozšíření chytré zásuvky

Tato podkapitola se zaměřuje na stručný popis dalšího možného vývoje zařízení chytré zásuvky.

6.3.1 Úprava prototypu

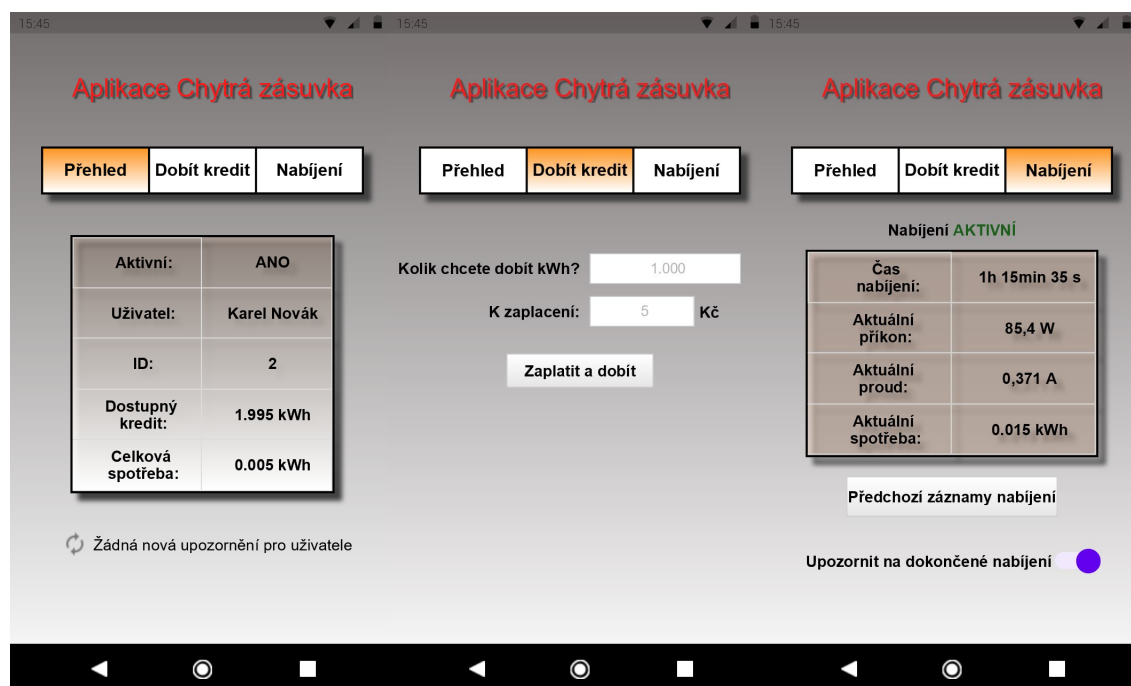
V průběhu testování vyrobeného prototypu nedocházelo k žádným problémům, ale při prvotním testování celého zapojení na nepájivém poli selhalo jedno relé. To mohlo být způsobeno tím, že bylo použito relé, které bylo již dříve intenzivně používáno v jiné aplikaci. Každé mechanické relé má totiž od výrobce předepsáno počet sepnutí, které by mělo vydržet. Po překročení této hodnoty a vlivem častého spínání je již velká pravděpodobnost, že dojde k jeho poškození. Na výsledném prototypu je však použito zcela nové relé, které by mělo vydržet dlouhou dobu, a to i díky tomu, že v provozu

nebude oproti testování docházet k tak častému spínání. Pokud by však byla požadována velmi vysoká životnost, použil by se nový spínací prvek – tzv. solid state relé. To využívá ke spínání princip polovodičů obdobně jako třeba tranzistor a neobsahuje tak žádný mechanický prvek.

6.3.2 Uživatelské rozhraní

Navržený prototyp obsahuje již v této chvíli mnoho funkcí, ale v rámci práce se tolik nezaměřuje na koncové uživatele. Počítá s tím, že existuje administrátor, který spravuje cloudovou databázi a má přehled o jednotlivých uživateli. Bylo by tedy vhodné navrhnout informační systém určený právě pro tyto uživatele chytré zásuvky, v němž by si mohli zobrazit některé své údaje. Proto byla vytvořena ukázka tohoto informačního systému, která je rozebrána v následujících odstavcích.

Jelikož jsou v současné době velmi populární mobilní aplikace, byla tato platforma zvolena pro návrh informačního systému. Každý uživatel chytré zásuvky by tak měl svůj přehled o používání tohoto zařízení přímo ve svém chytrém telefonu. Ukázka mobilní aplikace byla vytvořena pomocí softwaru Justinmind, který umožňuje vytvořit funkční rozhraní a otestovat jej přímo v počítači nebo mobilu. Vytvořená aplikace obsahuje tři hlavní obrazovky, které informují uživatele; jejich předběžnou podobu vidíme na obrázku 39.



Obrázek 39: Hlavní obrazovky aplikace Chytrá zásuvka

Na první obrazovce by se nacházel přehled základních informací o uživateli sestávající ze jména, uživatelského čísla (ID), zbývajících kreditu a celkové spotřeby elektrické energie. Mohly by se zde také zobrazovat důležité informace od administrátora. Druhá obrazovka by sloužila k dobíjení kreditu. Uživatel by zadal požadovanou hodnotu spotřeby, kterou chce dobít, a podle nastavené ceny by poté zvoleným způsobem zaplatil (např. odkázáním na platební bránu). Třetí obrazovka by se aktivovala v průběhu nabíjení a zobrazovala by aktuální naměřené hodnoty. Zde by mohla být i možnost pro automatické upozornění uživatele v případě dokončeného nabíjení. To by bylo výhodné tehdy, kdyby se chtěl uživatel v obchodním centru vzdálit od svého nabíjeného elektrospotřebiče (např. elektrokola) a věnovat se například nakupování. Toto řešení by však kvůli bezpečnosti vyžadovalo použití kamerového systému.

Tato navržená „ukázková“ aplikace je obsažena v příloze ZIP a byla exportovaná do HTML kódu, tudíž je možné ji jednoduše spustit v prohlížeči. Na závěr je důležité zmínit, že tato aplikace pouze ukazuje jednotlivé funkce a není jinak samostatně funkční. Pro její správné fungování by bylo nutné ji propojit s databází a každý uživatel by se k ní následně připojoval přes přidělené přístupové údaje.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této bakalářské práce byl návrh a následná realizace prototypu zařízení chytré zásuvky. Práce byla doplněna rešerší v oblasti mikrokontrolérů, cloudových systémů a RFID technologií.

Při návrhu bylo nutné vybrat vhodné komponenty, největší problém nastal při měření proudu. Senzor proudu je důležitým prvkem chytré zásuvky, jelikož řídí proces nabíjení a také v jeho průběhu poskytuje naměřená data, která jsou odesílána do databáze. Aby poskytoval přesná data, byl nakonec výhodně použit jeden typ měřicího modulu, který umožňuje i měření dalších veličin.

V průběhu realizace byla naprogramována řídicí část chytré zásuvky z pohledu mikrokontroléru a také komunikace s vytvořenou databází, která zajišťuje bezproblémový provoz tohoto zařízení. Následovalo doplnění ochrannými procedurami, které mohou vyřešit některé problémy při používání. Toto vlastní navržené řešení bylo následně vhodně implementováno do výsledného prototypu, u něhož byl kladen důraz na věrnou podobu s finálním výrobkem. Jelikož se však jedná o prototyp a mohou se provádět dodatečné úpravy, bylo zařízení navrženo tak, že lze jednoduše demontovat. K vyrobenému prototypu byla také vytvořena kompletní výkresová dokumentace uvedená v příloze na konci této práce.

Otestování funkčnosti sestaveného prototypu ukázalo, že zařízení je po všech stránkách funkční. V rámci práce bylo také vyzkoušeno dobíjení dvou elektrospotřebičů – mobilního telefonu a elektrokola, které ukázalo, že měření veličin většinou poskytuje vyrovnané hodnoty. Aby bylo testování věrohodné, zařízení bylo rovněž vyzkoušeno v provozu. Bylo tak dokázáno, že je možné celkem jednoduše nahradit klasickou zásuvku za chytrou a používat ji k dobíjení ve veřejných prostorech. Kvůli bezpečnosti by ještě bylo nutné vyřešit vhodné jištění, odpovídající maximálnímu měřenému proudu (10 A).

Práce byla zakončena popisem možných budoucích rozšíření tohoto zařízení. Budoucí vývoj by se více zaměřil na koncové uživatele. Proto zde byla alespoň naznačena podoba mobilní aplikace, která by poskytovala informace o uživateli a jejich používání chytré zásuvky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. **Dudáček, Karel.** Mikrokontroléry. [Online] [Citace: 25. 1. 2021.] <http://home.zcu.cz/~dudacek/Pot/mikrokontrolery.pdf>.
2. **Frýza, Tomáš.** Mikroprocesorová technika. [Online] [Citace: 25. 1. 2021.] <https://docplayer.cz/31951105-Ustav-radioelektroniky-blokova-struktura-mikrokontroleru.html>.
3. **Microchip, technology, Inc.** Featured Curiosity Boards. [Online] [Citace: 25. 1. 2021.] <https://www.microchip.com/promo/curiosity-development-boards>.
4. **RS, Components, Sp.** ATtiny1607 Curiosity Nano. [Online] [Citace: 25. 1. 2021.] <https://docs.rs-online.com/aa91/A700000007022693.pdf>.
5. **Voda, Zbyšek.** Průvodce světem Arduina. [Online] [Citace: 6. 2. 2021.] <https://robotikabrno.cz/docs/arduino/Průvodce-světem-Arduina-CZ.pdf>.
6. **Arduino, company.** Most popular boards. [Online] [Citace: 6. 2. 2021.] <https://store.arduino.cc/arduino/most-popular>.
7. **Selecký, Matúš.** Arduino: Uživatelská příručka. Brno : Computer Press, 2016. ISBN 978-80-251-4840-2.
8. **Čížek, Jakub.** Espressif, legenda mezi bastlíři, otevírá pobočku v Brně. Bude zde vyvíjet firmware svých čipů. [Online] [Citace: 15. 2. 2021.] <https://www.zive.cz/bleskovky/espressif-legenda-mezi-bastliri-otevira-pobocku-v-brne-bude-zde-vyvijet-firmware-svych-cipu/sc-4-a-188315/default.aspx>.
9. **Sirůček, Tomáš.** Aplikace integrovaného obvodu ESP32. [Online] [Citace: 15. 2. 2021.] <https://dSPACE.cvut.cz/handle/10467/82743?show=full>.
10. **Mischianti, Renzo.** DOIT ESP32 DEV KIT v1 high resolution pinout and specs. [Online] [Citace: 15. 2. 2021.] <https://www.mischianti.org/2021/02/17/doit-esp32-dev-kit-v1-high-resolution-pinout-and-specs/>.
11. **Lavrinčík, Jan.** Cloudové systémy - studijní opora pro kombinované studium. [Online] [Citace: 25. 2. 2021.] <https://docplayer.cz/104622223-Cloudove-systemy-studijni-opora-pro-kombinovane.html>.
12. **Bezpalec, Pavel.** Cloud Computing. [Online] [Citace: 25. 2. 2021.] <https://publi.cz/books/230/Cover.html>.
13. **Plesky, Elvis.** IaaS vs PaaS vs SaaS – cloud service models compared. [Online] [Citace: 25. 2. 2021.] <https://www.plesk.com/blog/various/iaas-vs-paas-vs-saas-various-cloud-service-models-compared/>.
14. **Kis, Matej.** Analýza současných cloudových řešení. [Online] [Citace: 25. 2. 2021.] https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=101485.
15. **Oracle.** Co je cloud computing? [Online] [Citace: 2. 3. 2021.] <https://www.oracle.com/cz/cloud/what-is-cloud-computing/>.

16. **Havel, František.** Cloud computing (IaaS, Paas, SaaS) a jak ho uchopit? [Online] [Citace: 2. 3. 2021.] <https://havel.mojeservery.cz/cloud-computing-iaas-paas-saas-a-jak-ho-uchopit/>.
17. **Microsoft, corporation.** Infrastruktura Azure jako služba. [Online] [Citace: 2. 3. 2021.] <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-azure/iaas/>.
18. **Oracle.** Co je relační databáze. [Online] [Citace: 2. 3. 2021.] <https://www.oracle.com/cz/database/what-is-a-relational-database/>.
19. **Jun, Adam.** MySQL manuál. [Online] [Citace: 8. 3. 2021.] <https://www.exafin.cz/uploads/prilohy/34123dee2532318bf4c2e6642f7e9c5c.pdf>.
20. **Herštus, Michal.** RFID – principy, typy, možnosti použití. [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] https://automa.cz/cz/casopis-clanky/rfid-principy-typy-moznosti-pouziti-2011_07_44083_5207/.
21. **Hudec, Přemysl.** Dálkové monitorování pohybu osob v budovách a areálech pomocí RFID systémů. [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] <https://portal.cvut.cz/wp-content/uploads/2017/04/HP2010-07-Hudec.pdf>.
22. **Editorial, Team.** What is the difference between read only and read-write RFID Tags? [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] <https://www.everythingrf.com/community/what-is-the-difference-between-read-only-and-read-write-rfid-tags>.
23. **SkyRFID, LLC.** RFID Range Overview. [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] https://skyrfid.com/RFID_Range.php.
24. **Klauz, Milan.** Jaký je rozdíl mezi aktivním a pasivním RFID? [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] <https://www.dps-az.cz/vyvoj/id:53208/jaky-je-rozdil-mezi-aktivnim-a-pasivnim-rfid->.
25. **Smiley, Suzanne.** Active RFID vs. Passive RFID: What's the Difference? [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/active-rfid-vs-passive-rfid>.
26. **NXP, Semiconductors.** MFRC522 datasheet. [Online] [Citace: 15. 3. 2021.] <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf>.
27. **Potential, Labs.** ACS712. [Online] [Citace: 28. 3. 2021.] <https://potentiallabs.com/cart/image/cache/catalog/New%20Components/Acs-712%205A-800x800.jpg>.
28. **Hadex, s.r.o.** Proudová sonda SCT-013-020 20A~/1V~. [Online] [Citace: 28. 3. 2021.] <https://www.hadex.cz/r005b-proudova-sonda-sct-013-020-20a~1v~/>.
29. **Láska, Konstantin.** PZEM-004T 230V jednofázový wattmetr. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.laskarduino.cz/pzem-004t-230v-jednofazovy-wattmetr/>.
30. **InnovatorsGuru.** PZEM-004T V3.0 User Manual. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://innovatorsguru.com/wp-content/uploads/2019/06/PZEM-004T-V3.0-Datasheet-User-Manual.pdf>.

31. **Láska, Konstantin.** Napájecí zdroj 230V AC-DC 5V/700mA. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.laskarduino.cz/zdroj-230-ac-dc-5v-700ma-3-5-w/>
32. **Eclipsera, modules.** Modul s opticky odděleným relé 5 V. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://dratek.cz/docs/produkty/0/579/1517442331.pdf>.
33. **GME, electronics.** Zásuvka vestavná IP54 Z134F modrá. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.gme.cz/zasuvka-vestavna-ip54-z134f-modra>.
34. **GoLED.** Co je stupeň krytí IP? [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.goled.cz/blog/stupen-kryti-ip/>.
35. **Láska, Konstantin.** Keyes KY-016 RGB LED Modul. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.laskarduino.cz/keyes--ky-016-rgb-led-modul/>.
36. **Láska, Konstantin.** Aktivní bzučák 3.3V. [Online] [Citace: 5. 4. 2021.] <https://www.laskarduino.cz/aktivni-bzucak-3-3v/>.
37. **Web začínajících radioamatérů.** Jaký zvolit průřez vodiče. [Online] [Citace: 15. 4. 2021.] http://oklike.c-a-v.com/soubory/prurez_vodice.htm.
38. **Energie123.** Kolik stojí 1 kWh? [Online] [Citace: 8. 5. 2021.] <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vnitřní struktura mikrokontroléru (upraveno [2])	17
Obrázek 2: ATtiny1607 Curiosity Nano Evaluation Kit [4]	19
Obrázek 3: Vývojová deska ESP32 s popisem vývodů [10]	20
Obrázek 4: Hierarchie modelů cloudového systému s příklady (upraveno [13])	23
Obrázek 5: Ukázka tabulek z databáze chytré zásuvky	26
Obrázek 6: Blokové schéma pasivního RFID systému (upraveno [21])	28
Obrázek 7: Blokové schéma aktivního RFID systému	29
Obrázek 8: Čtecí modul MRFC522	30
Obrázek 9: Zjednodušené blokové schéma chytré zásuvky	31
Obrázek 10: Senzor proudu ACS712 [27]	32
Obrázek 11: Měřicí sonda SCT-013-020 [28]	33
Obrázek 12: Měřicí modul PZEM-004T v.3.0 ([29], upraveno [30])	34
Obrázek 13: Napájecí zdroj 230V AC-DC 5V/700mA [31]	36
Obrázek 14: Jednakanálový relé modul 5 V	36
Obrázek 15: Zásuvka vestavná IP54 Z134F modrá (upraveno [33])	37
Obrázek 16: Keyes Ky-016 RGB LED modul [35]	38
Obrázek 17: Aktivní bzučák 3,3 V [36]	38
Obrázek 18: Obecný vývojový diagram řídicí části chytré zásuvky	42
Obrázek 19: Ukázka záznamů z tabulky Historie přístupů	44
Obrázek 20: Procedura cloudové databáze pro ověření uživatele	44
Obrázek 21: Ukázka naměřených dat z tabulky Záznam nabíjení	45
Obrázek 22: Ukázka tabulky Seznam uživatelů	46
Obrázek 23: Ukázka z tabulky Chybový protokol	47
Obrázek 24: Zjednodušené blokové schéma elektrotechnické části	48
Obrázek 25: 3D model DPS slaboproudé části	49
Obrázek 26: Osazená DPS slaboproudé části	49
Obrázek 27: 3D model DPS silnoproudé části	50
Obrázek 28: Osazená DPS silnoproudé části	51
Obrázek 29: Navržený 3D model chytré zásuvky	52
Obrázek 30: Pohled na přední část prototypu	53
Obrázek 31: Pohled na vnitřní část prototypu	54
Obrázek 32: Pohled na zadní část prototypu	55
Obrázek 33: Výpis ze sériového monitoru v průběhu spouštění zařízení	57
Obrázek 34: Výpis ze sériového monitoru a znázornění komunikace s databází při ověřování karty	58
Obrázek 35: Naměřená data ze zátěžového testu	59
Obrázek 36: Výměna klasické zásuvky za chytrou a ukázka jejího provozu	60
Obrázek 37: Průběh proudu v čase při nabíjení mobilního telefonu	61
Obrázek 38: Průběh proudu v čase při nabíjení elektro kola	62
Obrázek 39: Hlavní obrazovky aplikace Chytrá zásuvka	63

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Výběr Arduino vývojových desek [6]	19
Tabulka 2: Charakteristické vlastnosti ESP32.....	21
Tabulka 3: Základní příkazy SQL	25
Tabulka 4: Přehled použitých knihoven	41

SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy uvedené v této práci:

SCHÉMATA:

- Schéma zapojení slaboproudé části
- Schéma zapojení silnoproudé části
- Kompletní schéma zapojení chytré zásuvky

DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ:

- DPS slaboproudé části
- DPS silnoproudé části

VÝKRESY:

- Krabice chytré zásuvky (přední, boční a zadní část)
- Držadlo napájecího IEC konektoru
- Zadní část – plexisklo

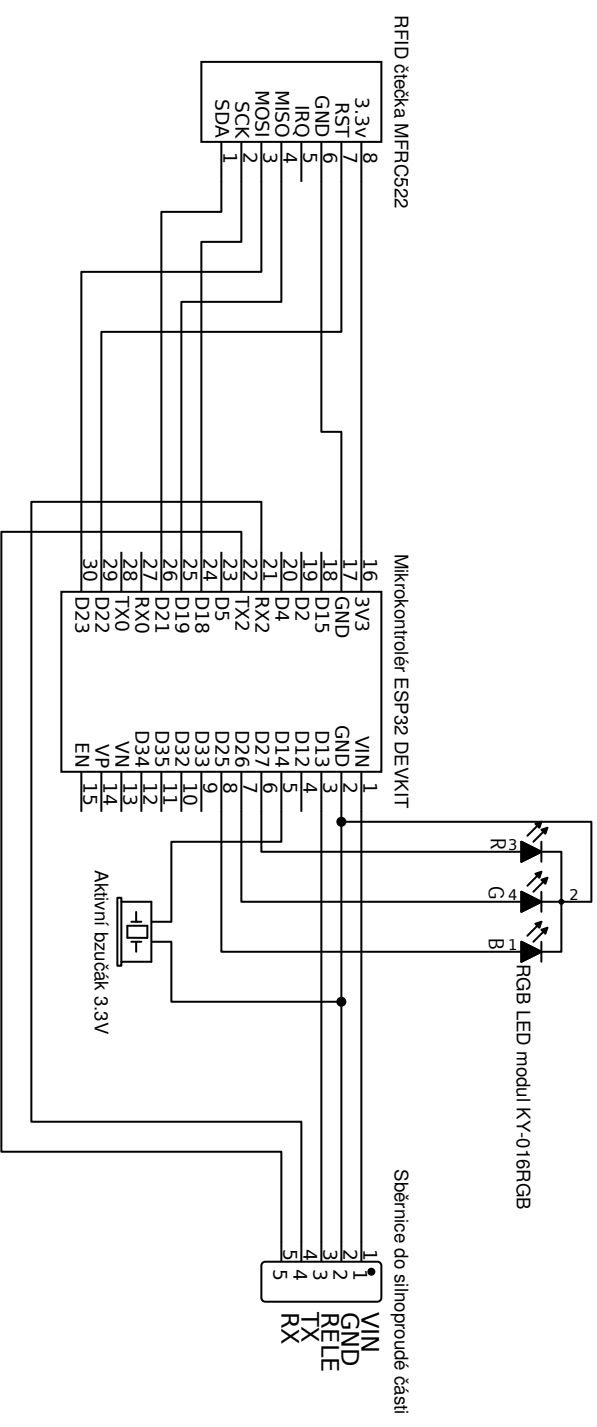
Přílohy uvedené v externím souboru ZIP

SLOŽKY:

- „Chytrá zásuvka – MIKROKONTROLÉR“ – kompletní zdrojový kód řídicí části
- „Chytrá zásuvka – KNIHOVNY“ – soubory použitých knihoven
- „Chytrá zásuvka – DATABÁZE“ – kompletní MySQL databáze a použité triggery
- „Chytrá zásuvka – VÝROBA PROTOTYPU“ – některé fotografie z výroby prototypu
- „Chytrá zásuvka – APLIKACE“ – ukázka vytvořené aplikace pro mobilní telefony
- „Chytrá zásuvka – UKÁZKA NABÍJENÍ“ – některé fotografie z nabíjení elektrokola

SOUBORY:

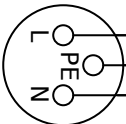
- „Chytra_zasuvka_3D_MODEL.stl“ – navržený 3D model krabice chytré zásuvky
- „Chytra_zasuvka_SEZNAM_SOUCASTEK.xlsx“ – soupis všech použitých součástek
- „Chytra_zasuvka_ZAZNAM_DAT.xlsx“ – kompletní naměřená data včetně grafů
- „Chytra_zasuvka_MERENI_PROUDU.xlsx“ – porovnání měřicího modulu a klešťového multimetru při měření proudu různých spotřebičů



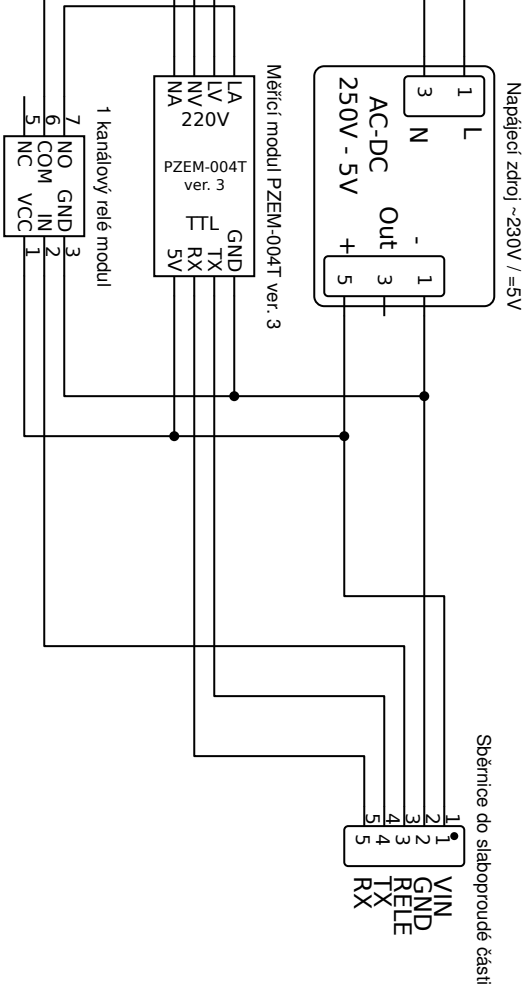
NÁZEV:		TYP:	
CHYTRÁ ZÁSUVKA - SLABOPROUDÁ ČÁST		SCHEMA	
VYTVOŘIL: TOMÁŠ CHALUPA		DATUM: 5.1.2021	LIST: 1/1

Napájecí EURO Konektor IEC 60320 C14

Rychlá pojistka
10A, 5x20MM



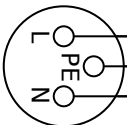
Zásuvka vestavná IP54 Z134F



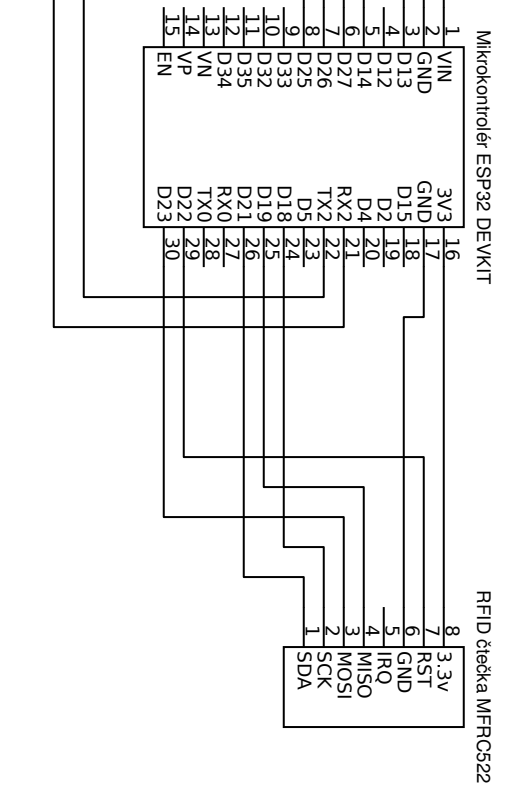
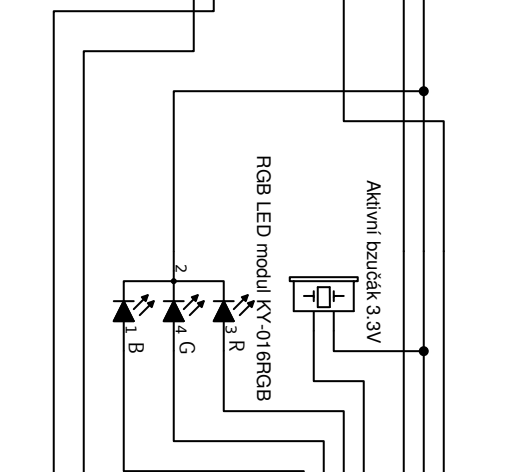
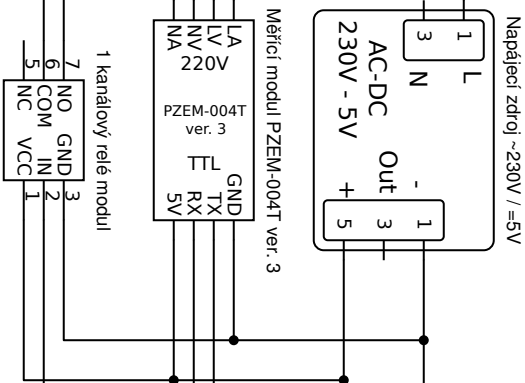
NÁZEV:		TYP:	
CHYTRÁ ZÁSUVKA - SILNOPROUDÁ ČÁST		SCHÉMA	
VYTVOŘIL: TOMÁŠ CHALUPA		DATUM: 14.1.2021	
		LIST: 1/1	

Napájecí EURO Konektor IEC 60320 C14

Rychlá pojistka
10A,5X20MM

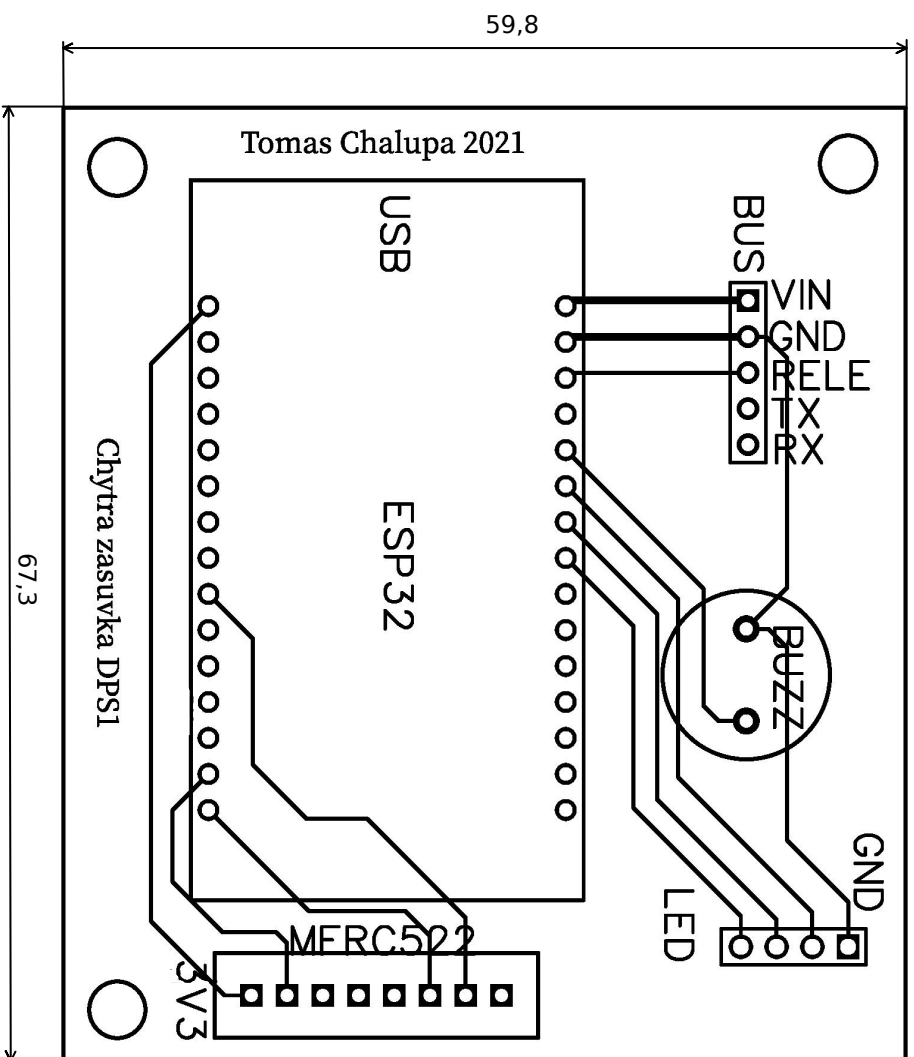


Zásuvka vestavná IP54 Z134F

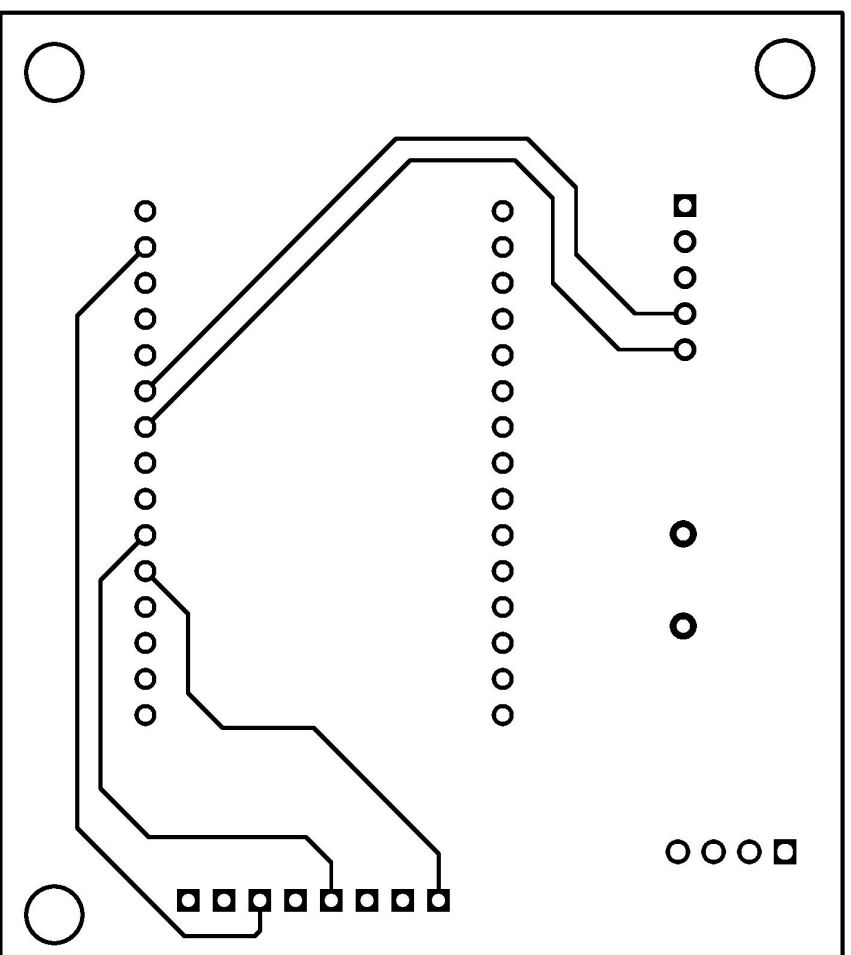


NÁZEV: CHYTRÁ ZÁSUVKA - KOMPLETNÍ ZAPOJENÍ		TYP: SCHÉMA	
VYTVOŘIL: TOMAŠ CHALUPA		DATUM: 25.1.2021	
		LIST: 1/1	

Vrchní strana

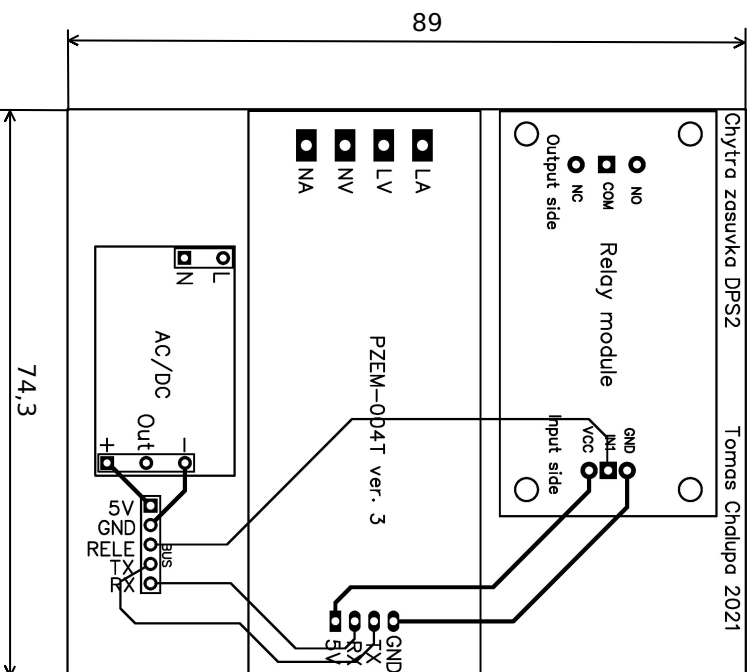


Spodní strana

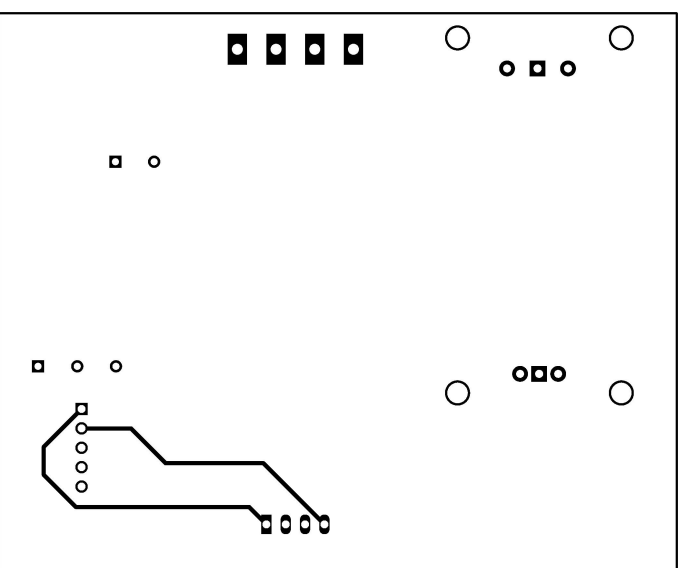


NÁZEV:	TYP:
CHYTRÁ ZÁSUVKA - SLABOPROUDÁ ČÁST	PLOŠNÉ SPOJE 2:1
VYTVOŘIL: TOMÁŠ CHALUPA	DATUM: 10.1.2021
	LIST: 1/1

Vrchní strana

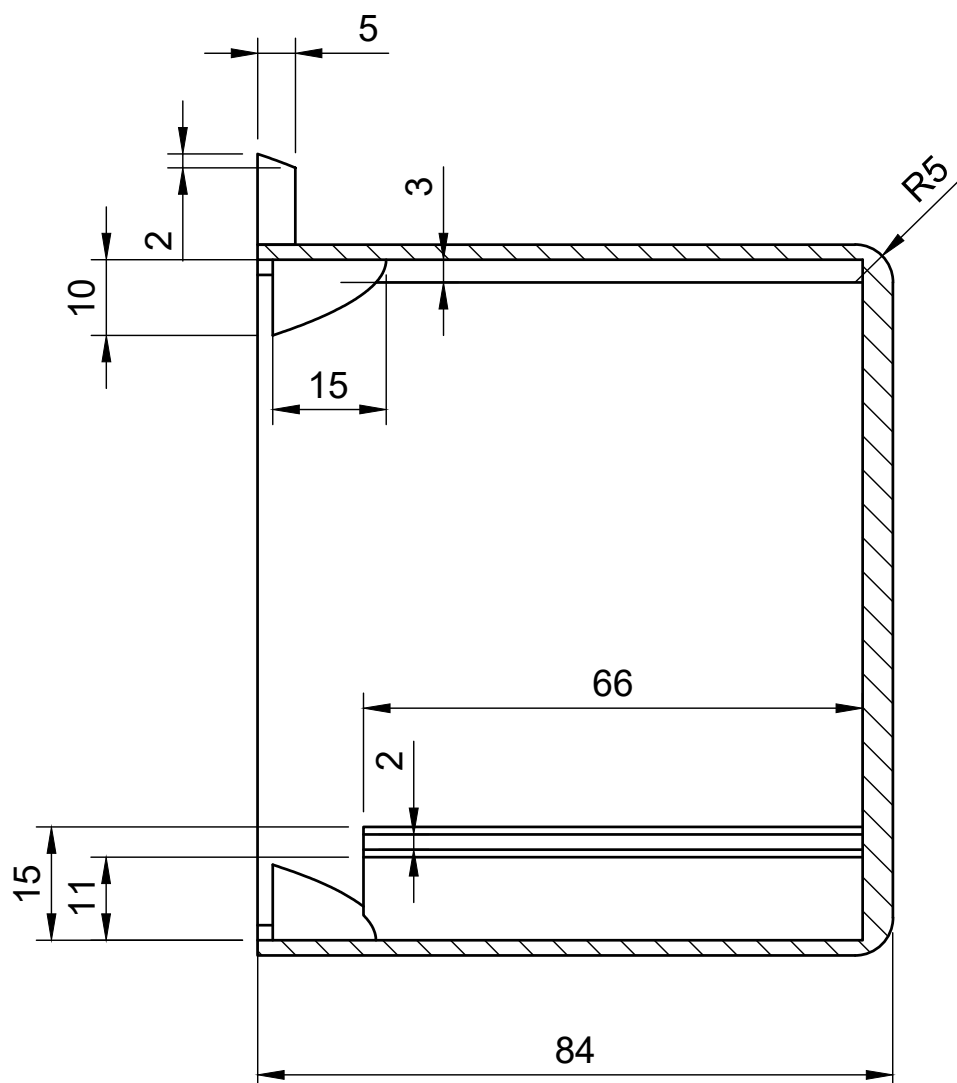


Spodní strana



NÁZEV: CHYTRÁ ZÁSUVKA - SILNOPROUDÁ ČÁST	TP: PLOŠNÉ SPOJE 1:1
VYTVORIL: TOMÁŠ CHALUPA	DATUM: 22.1.2021 LIST: 1/1

A-A (1:1)



NÁZEV:

Chytrá zásuvka - boční strana (řez)

Typ:

Výkres 1:1

VYTVOŘIL:

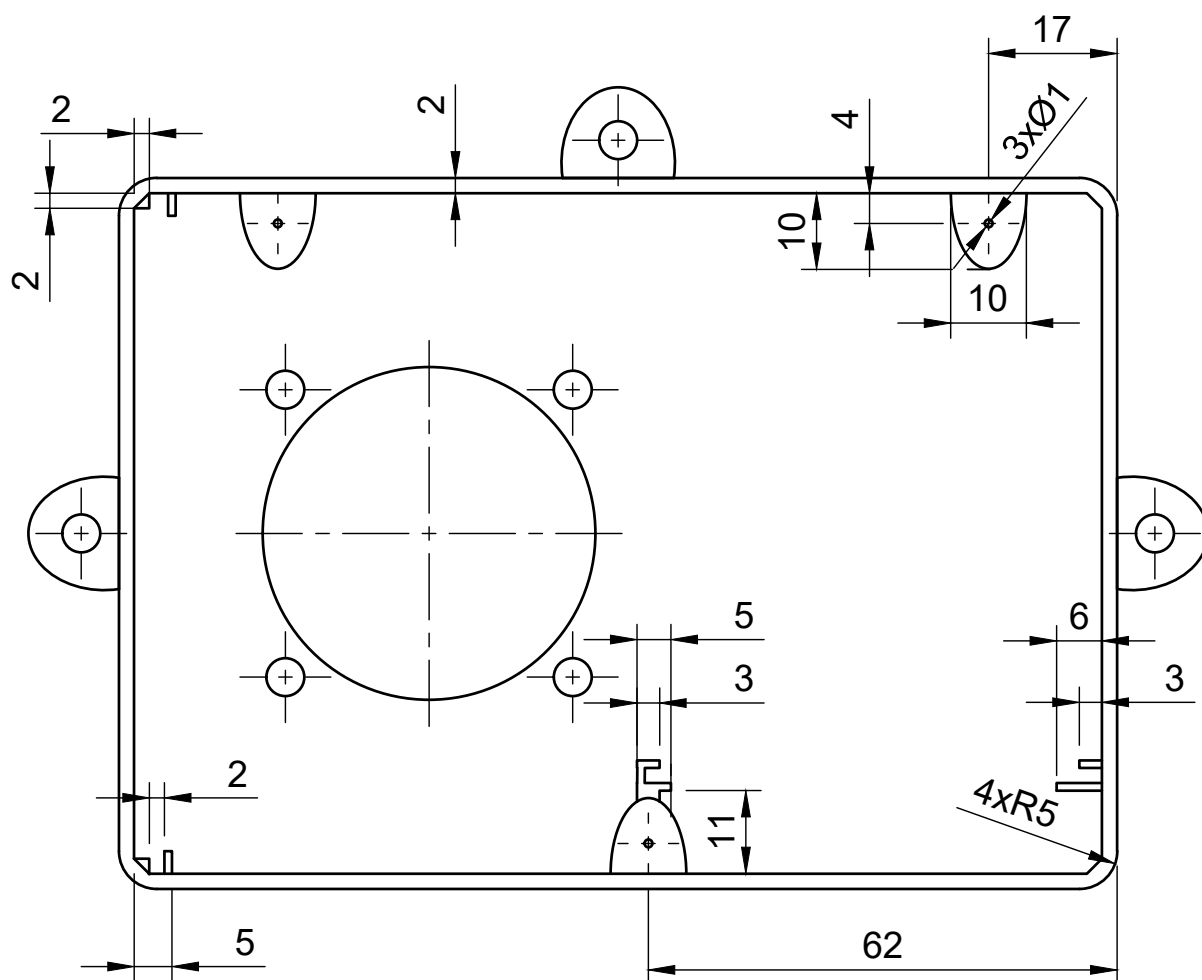
Tomáš Chalupa

DATUM:

21.2.2021

LIST:

2/3



NÁZEV:

Chytrá zásuvka - zadní strana

Typ:

Výkres 1:1

VYTVOŘIL:

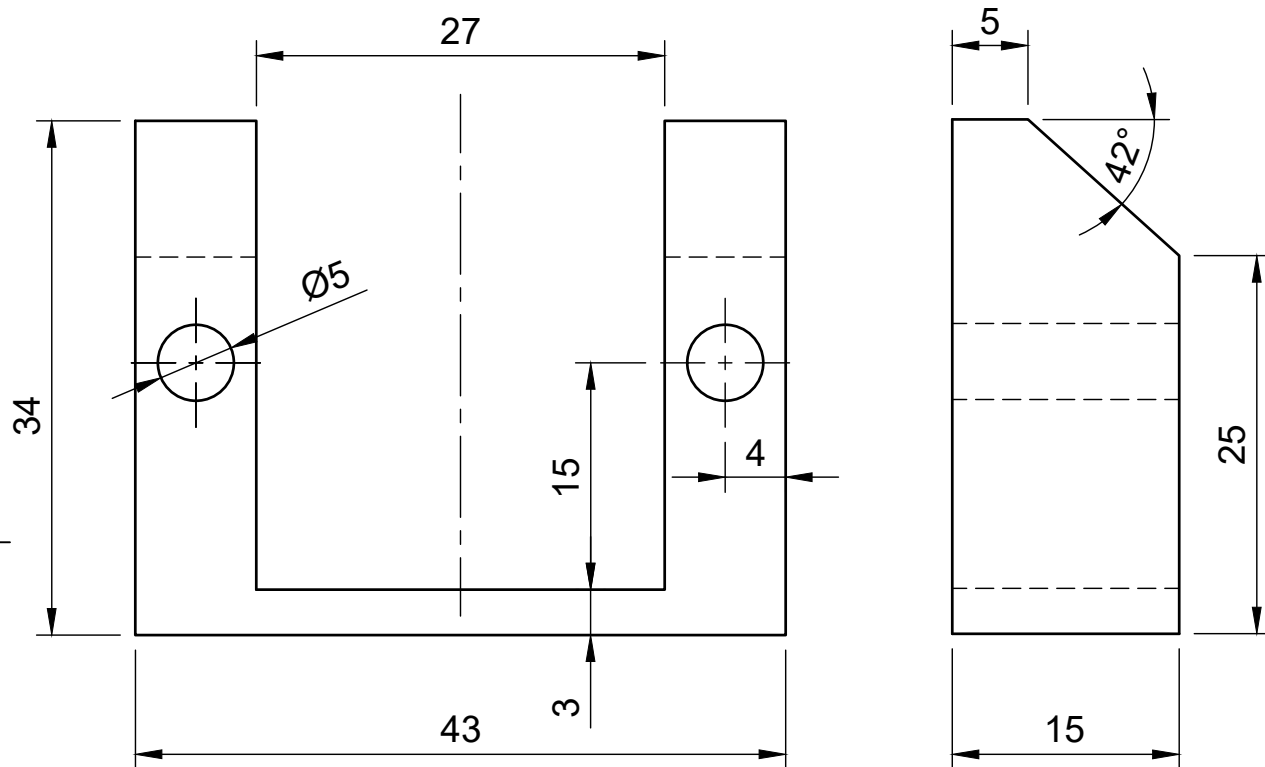
Tomáš Chalupa

DATUM:

21.2.2021

LIST:

3/3



NÁZEV:

Chytrá zásuvka - Držadlo IEC konektoru

Typ:

Výkres 2:1

VYTVOŘIL:

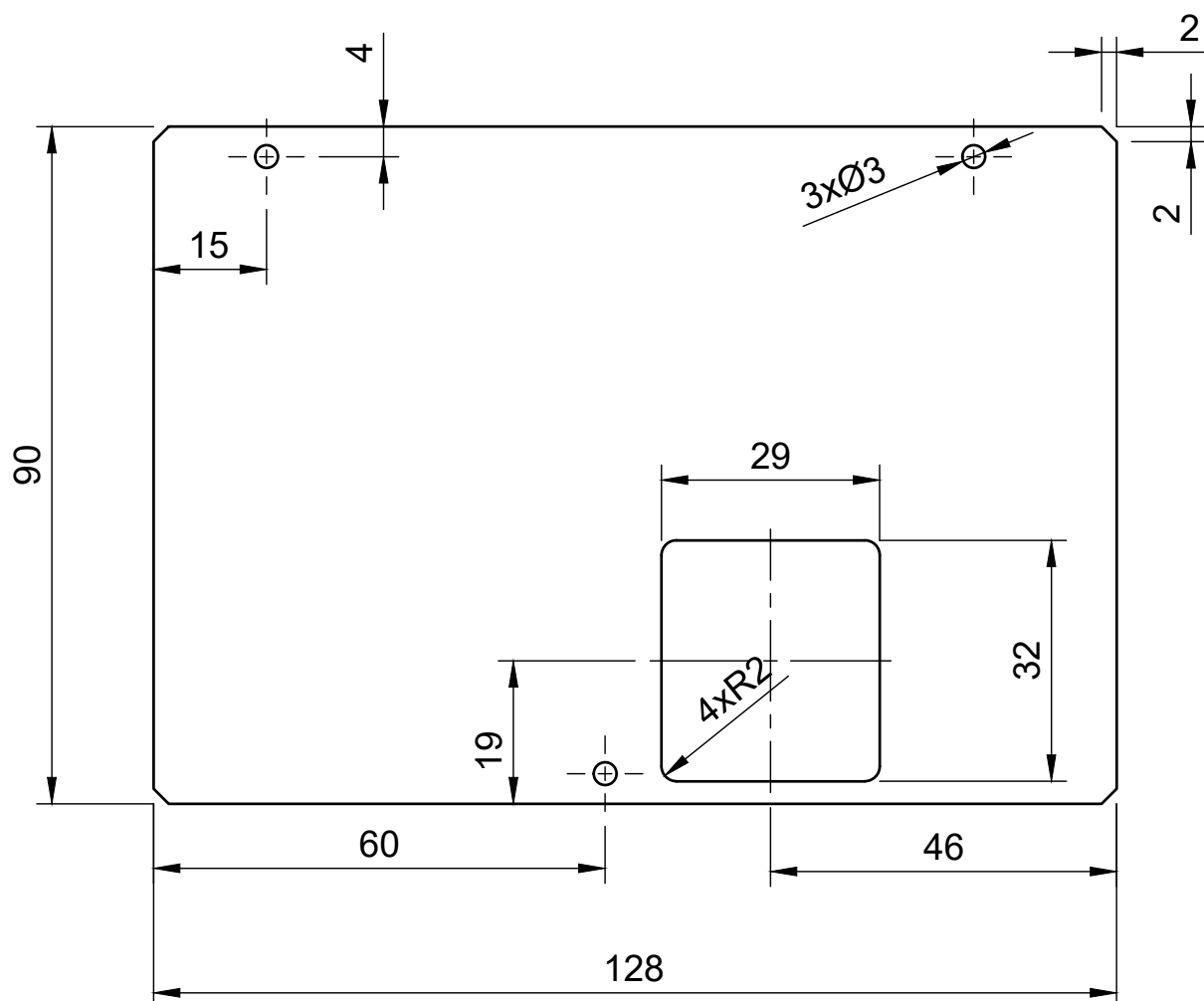
Tomáš Chalupa

DATUM:

27.2.2021

LIST:

1/1



NÁZEV:

Chytrá zásuvka - zadní panel (plexisklo)

Typ:

Výkres 1:1

VYTVOŘIL:

Tomáš Chalupa

DATUM:

25.2.2021

LIST:

1/1